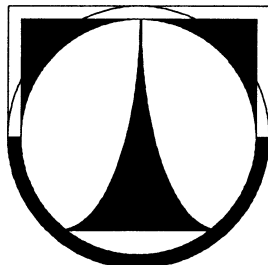


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojů průmyslové dopravy



**NÁVRH A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ODHLUČNĚNÍ
ZAMETACÍHO STROJE**

**PROPOSAL AND STRUCTURAL SOLUTION OF
SWEEPER NOISE REDUCTION**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

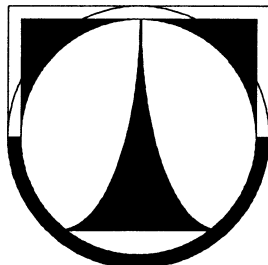
Martin Sklenka

Leden 2007

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojů průmyslové dopravy



Obor 2302T010

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Kolové dopravní a manipulační stroje

**NÁVRH A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ODHLUČNĚNÍ
ZAMETACÍHO STROJE**

**PROPOSAL AND STRUCTURAL SOLUTION OF
SWEEPER NOISE REDUCTION**

Diplomová práce

KSD – DP – 510

Martin Sklenka

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Pavel Němeček

Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Bláha, KOBIT s.r.o.

Počet stran: 57

Počet obrázků: 41

Počet grafů: 7

Počet příloh: 5

Počet výkresů: 2

Leden 2007

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

Návrh a konstrukční řešení odhlučnění zametacího stroje

Anotace

Diplomová práce pojednává o hlukových emisích zametacího stroje s cílem vytvořit návrh, který povede k jejich snížení. V první části jsou shrnuty základní poznatky z teorie hluku ve vztahu k člověku a objasněny principy jeho vzniku, šíření a možnosti snižování. Následuje část, ve které je popsáno současné řešení zametače z hlediska hlukových emisí a na základě provedeného měření jsou označeny hlavní zdroje hluku. V závěru práce je proveden konstrukční návrh opatření ke snížení hluku zametacího stroje.

Proposal and Structural Solution of Sweeper Noise Reduction

Annotation

This Diploma Thesis deals with sweeper noise emissions and project of sweeper noise reduction. Basic information about sources of noise, about its propagation and methods of reduction are summarized in the first part of the thesis. Further, it analyses the present construction of the sweeper and it describes main sources of noise. Structural design of sweeper noise reduction is projected in the final part of the thesis

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojů průmyslové dopravy
Dokončeno : 2007
Archivní označení zprávy:

Počet stran: 57

Počet obrázků: 41

Počet grafů: 7

Počet příloh: 5

Počet výkresů: 2

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl vyjádřit poděkování všem, kteří mě v mojí práci a v průběhu celého studia podporovali a pomáhali mi.

Zvláštní poděkování patří pánům Ing. Jiřímu Bláhovi a Ing. Petru Krejčímu z firmy KOBIT s.r.o. za ochotu a vstřícný přístup při častém poskytování množství informací o konstrukci zametacího stroje, dále pánům Ing. Václavu Dvořákovi a doc. Ing. Karlu Adámkovi z Katedry energetických zařízení TUL za cenné a přínosné rady z oblasti proudění vzduchu a v neposlední řadě panu doc. Dr. Ing. Pavlu Němečkovi za spolupráci při měření a za podnětné vedení při tvorbě této práce.

Velmi si vážím času, který mi výše jmenovaní pánové věnovali a vřele jim touto cestou děkuji!

Seznam symbolů a jednotek

Pokud není v textu uvedeno jinak

c	rychlost zvuku	[m/s]
d	konstanta spalovacího motoru	[-]
f	frekvence	[Hz]
i	převodový poměr	[-]
L_p	hladina akustického tlaku	[dB]
L_w	hladina akustického výkonu	[dB]
m	hmotnost	[kg]
n	otáčky	[1/min]
R	stupeň vzduchové neprůzvučnosti	[dB]
S	plocha průřezu	[m ²]
v	rychlost	[m/s]
z	počet válců motoru	[-]
z_L	počet lopatek ventilátoru	[-]
λ	vlnová délka	[m]
ρ	hustota	[kg/m ³]
σ	plošná hmotnost	[kg/m ²]
ω	úhlová frekvence	[rad/s]

Seznam indexů

A	váženo váhovým filtrem A
k	pořadí harmonické frekvence
lin.	lineární (bez váhového filtru)
m	motor
vz	vzduch

Obsah

1	Úvod	10
2	Základní poznatky z teorie hluku	12
2.1	Hluk a člověk	12
2.1.1	Vnímání hluku	12
2.1.2	Účinky hluku na lidský organizmus	14
2.2	Hluk strojních zařízení	16
2.2.1	Zdroje hluku	16
2.2.2	Šíření hluku	17
2.2.3	Principy snižování hluku	17
3	Současné řešení zametacího stroje	22
3.1	Popis zametače K6	22
3.1.1	Popis návstavby	22
3.1.2	Schéma návstavby s popisem	23
3.1.3	Popis funkce zametače	25
3.2	Zametač jako zdroj hluku	25
3.2.1	Hluk vyvolaný pohonnou jednotkou návstavby	26
3.2.2	Hluk vyvolaný prouděním vzduchu	26
3.2.3	Současné protihlukové úpravy používané výrobcem	27
3.3	Hluk zametacího stroje z legislativního hlediska	29
3.4	Měření hluku zametače K6	29
3.4.1	Parametry měření	30
3.4.2	Volba bodů pro měření	30
3.4.3	Průběh měření	32
3.4.4	Výsledky měření	33
3.4.5	Zpracování výsledků měření	33
3.5	Lokální zdroje hluku	39
3.5.1	Sací hubice	39
3.5.2	Výstup z ventilátoru	40
3.5.3	Hluk šířený z technologického prostoru	40
4	Návrh odhlučnění zametacího stroje	41
4.1	Kryt technologického prostoru	41
4.1.1	Konstrukční provedení krytu	41

4.1.2	Teoretický útlum hluku	43
4.1.3	Zhodnocení krytu	44
4.2	Tlumič hluku na výstupu z ventilátoru.....	45
4.2.1	Volba typu tlumiče.....	45
4.2.2	Návrh tlumiče	46
4.2.3	Konstrukční provedení tlumiče	48
4.2.4	Teoretický útlum hluku	50
4.2.5	Zhodnocení tlumiče hluku	51
4.3	Úpravy sací hubice.....	51
4.3.1	Změna výšky hubice nad zemí.....	52
4.3.2	Změna tvaru hubice	54
4.4	Legislativní a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav.....	55
4.4.1	Legislativní zhodnocení.....	55
4.4.2	Ekonomické zhodnocení	56
	Seznam použité literatury	57

Přílohy

Výkres sestavy tlumiče hluku na výstupu z ventilátoru

Výkres sestavy krytu technologického prostoru

CD s doprovodnými daty a textem DP

1 Úvod

Hluk, jako typický produkt civilizačního procesu je škodlivinou, jejíž výskyt v posledních desetiletích značně vzrostl. Na této skutečnosti se významnou měrou podílí nemalý nárůst dopravních prostředků a různých pracovních strojů, které svými emisemi zatěžují a negativně ovlivňují životní prostředí nás všech. S hlukem, způsobeným jejich každodenním provozem, přichází do styku velké množství lidí při svých pravidelných cestách do zaměstnání, při pohybu venku během dne i v době svého odpočinku a podobně. Takovéto opakované a dlouhodobé působení hluku na lidský organismus vyvolává četné zdravotní obtíže. K nejprokazatelnějším patří poškození sluchového aparátu, srdeční a cévní poruchy, nespavost a zvýšená náchylnost ke stresu.

Tato vážná situace již před časem vedla k zavedení řady legislativních opatření s cílem zabezpečit ochranu člověka před nepříznivými účinky hluku. V průběhu let byla doplňována a upravována až do současné podoby, splňující kritéria EU.

Hlučnost strojního zařízení a dopravních prostředků vystupuje do popředí jako významný ukazatel jakosti. Hraje důležitou úlohu v obchodní politice, určuje prodejeschopnost výrobku nebo ovlivňuje jeho cenu, často je i rozhodujícím kritériem v postavení výrobku na zahraničním trhu. Provozovatel požaduje takový stroj, u něhož hlukové poměry vyvolané jeho provozem nepřekračují přípustné meze dané hygienickými předpisy, platnými ve všech vyspělých státech. Je přirozené, že za těchto okolností volí zákazník produkt s nižší hlučností třeba i s vyšší prodejní cenou.

Tento tlak se nevyhýbá ani výrobcům komunální techniky. Každodenní nasazení zametacích vozů ve městech, v bezprostřední blízkosti lidí a jejich domovů, staví tyto stroje do popředí zájmu v oblasti snižování hluku vyvolaného jejich provozem. Základní funkce stroje spočívá v procesech a fyzikálních jevech, jejichž nezbytným projevem je chvění a hlučnost. Úlohou konstruktéra je najít takové řešení, kterým by tyto procesy obešel nebo zmírnil jejich důsledky v akustickém projevu popřípadě jinak omezil vyzařování akustické energie s využitím jemu dostupných technologií a materiálů i s ohledem k jeho ekonomickým možnostem.

Trochu světla by do tohoto problému měla vnést diplomová práce, jejíž výsledkem jsou návrhy, kterými je možné docílit snížení hlukových emisí samosběrných zametačů.

Před vypracováním samotných protihlukových opatření je nezbytné seznámit se podrobně s konstrukcí stroje a plně pochopit jeho funkci. Získané poznatky poslouží k následné identifikaci zdrojů a způsobů šíření hluku v nástavbě zametače. Velkým přínosem při lokalizaci zdrojů jsou informace získané zpracováním výsledků provedeného měření. Dále lze s využitím získaných vědomostí z oblasti akustiky přistoupit k návrhu řešení vedoucího ke snížení hluku stroje. Veškerá protihluková opatření jsou navrhována s přihlédnutím k možnostem výrobce. Nechybí ani teoretické stanovení útlumu, kterého lze realizací úprav dosáhnout. V závěru je provedeno zhodnocení uvedených návrhů po stránce legislativní a hrubé posouzení z hlediska ekonomického.

2 Základní poznatky z teorie hluku

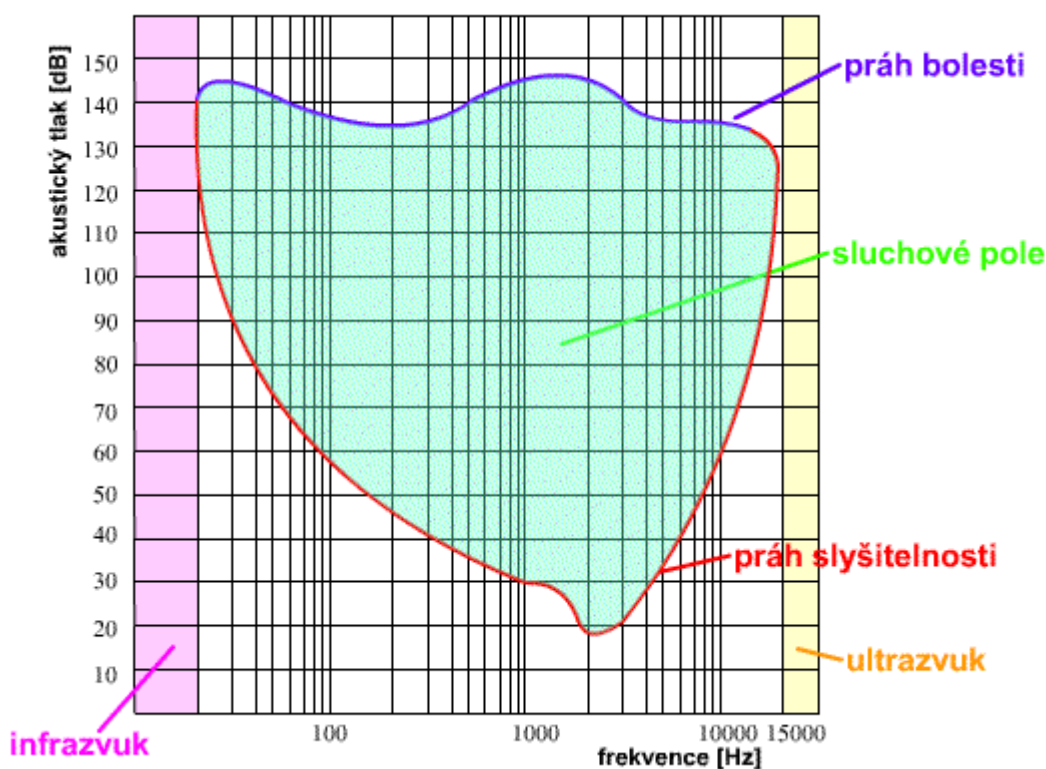
2.1 Hluk a člověk

2.1.1 Vnímání hluku

Obecně se za *zvuk* považují jakékoliv (periodické i neperiodické) vibrace částic plynného, kapalného nebo pevného media ve frekvenčním pásmu přibližně odpovídající schopnostem vnímání lidského ucha. *Hlukem* se rozumí takový akustický signál, jehož působení člověka ruší, obtěžuje a poškozuje. Stejný zvuk nemusí být každým a za všech okolností vnímán jako nepříjemný a rušivý.

Sluchový orgán člověka je schopen vnímat zvukové vlny ve frekvenčním pásmu od 16 Hz do 20 kHz. Oblast pod spodní hranicí nazýváme *infrazvuk*, oblast nad horní hranicí *ultrazvuk*. Stanovení přesných hranic pásma slyšení není zcela jednoznačné, záleží na individuální dispozici jedinců, na stáří člověka atd. V každém případě je však infrazvuk i ultrazvuk neslyšitelný.

Co do intenzity zvukového signálu rozlišuje lidské ucho zvuky také v určitém pásmu a jeho vnímání není lineární, nýbrž logaritmické. Z tohoto důvodu bývá hluk



Obr. 1 Spektrum slyšitelnosti [www.homen.vsb.cz]

vyjádřen hladinami akustických veličin s jednotkou *decibel [dB]*. V otázkách působení hluku na člověka je nejvíce užívána *hladina akustického tlaku $[L_p]$* . Zvýšení hladiny akustického tlaku o 6 dB vnímá člověk jako zdvojnásobení sluchového vjemu. Hladinu $L = 0$ dB označujeme jako *práh slyšitelnosti*, zde začíná člověk vnímat zvukový signál. Přibližně při hladině $L = 140$ dB se sluchový vjem mění v bolest a hrozí okamžité poškození sluchového orgánu. Tuto hladinu nazýváme *prahem bolesti*.

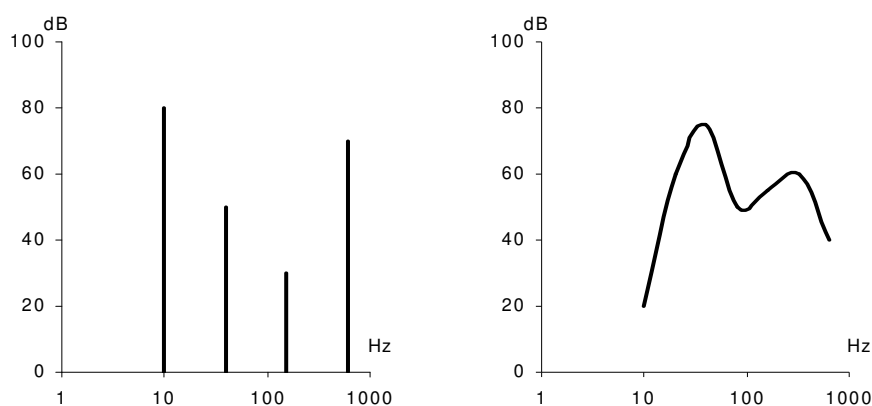
Akustické signály o vysokých hladinách nad 100 dB nevnímá člověk už pouze uchem, ale i lebeční kostí a je proto zapotřebí při dlouhodobějším působení takového zvuku chránit celou hlavu.

Hluk strojů je složen z množství jednotlivých složek o různých kmitočtech s různými hladinami. Vzájemná závislost mezi hladinami a kmitočty je zobrazena ve *frekvenčním spektru*. Podle povahy stroje mohou některé jednotlivé frekvenční složky vyniknout a vytváří *čárové spektrum* (ventilátory, ozubené převody), nebo jsou rozloženy přibližně stejně a tvoří *spojité spektrum* (elektromotory). U hlubokých zvuků (např. transformátory) převládají ve spektru složky s nízkými kmitočty, naproti tomu u zvuků vysokotónového charakteru (pojistné ventily) vynikají vyšší frekvence.



Obr. 2 Příklady hladin některých zvuků

Pro sluchový orgán člověka jsou nejnebezpečnější signály s vysokými



Obr. 3 Čárové a spojité frekvenční spektrum

kmitočty, proti kterým je třeba se chránit, zatímco zvuky o nízkých frekvencích způsobují při dlouhodobějším působení únavu a malátnost organismu. Z hlediska techniky snižování hluku je jednodušší utlumit signál vysokofrekvenčního charakteru.

Logaritmické vnímání zvuku v praxi znamená, že při působení dvou stejně hlučných zdrojů ze stejné vzdálenosti je hladina akustického tlaku v místě pozorovatele vyšší o 3 dB než při působení pouze jednoho zdroje, v případě 10 zdrojů dojde k navýšení o 10 dB. Při současném působení dvou zdrojů hluku, mezi kterými je rozdíl v hlasitosti větší než 10 dB, přestává být tišší zdroj vnímán. Z tohoto důvodu požadujeme při akustických měřeních aby hluk okolí byl minimálně o 10 dB nižší. Z uvedeného analogicky vyplývá, že při požadavku snížit hluk stroje o 10 dB musíme omezit vyzařovanou akustickou energii na pouhou jednu desetinu původní hodnoty.

2.1.2 Účinky hluku na lidský organizmus

Nepříznivé účinky hluku na lidské zdraví jsou obecně definovány jako morfologické nebo funkční změny organismu, které vedou ke zhoršení funkcí organismu, ke snížení kompenzační kapacity vůči stresu nebo ke zvýšení vnímavosti k jiným nepříznivým vlivům prostředí.

S určitým zjednodušením můžeme účinky působení hluku rozdělit na účinky *specifické*, které se projevují poruchami sluchového analyzátoru a na účinky *nespecifické* (mimosluchové), kdy dochází k ovlivnění funkcí různých systémů organismu.

Působení hluku v prostředí je ovšem nutné posuzovat i z hlediska ztížené řečové komunikace a dále rovněž z hlediska obtěžování, pocitů nespokojenosti, rozmrzelosti a nepříznivého ovlivnění pohody lidí.

Souhrnně lze nejdůležitější současné poznatky o základních nepříznivých účincích hluku na lidské zdraví a pocity pohody lidí stručně charakterizovat takto:

Poškození sluchového aparátu je dostatečně prokázáno u pracovní expozice hlukem, a to v závislosti na výši *ekvivalentní hladiny akustického tlaku* L_{Aeq} , jakož i v závislosti na trvání expozice. Platí, že riziko sluchového poškození existuje i u hluku v mimopracovním prostředí při různých činnostech spojených s vyšší hlukovou zátěží. Vyskytuje li se člověk delší dobu v prostředí s hladinou akustického tlaku vyšším než 90 dB, ztrácí dočasně sluchovou ostrost a cítí se ohlušen. Tento úkaz po

určité době strávené v klidném prostředí mizí, jelikož sluchový orgán disponuje schopností regenerace, která je ovšem omezená. Při dlouhodobém a nadměrném působení hlukové zátěže dojde k nenapravitelnému poškození buněk sluchového aparátu, jež může vyústit v trvalou ztrátu sluchu.

Zhoršení řečové komunikace vyvolané zvýšenou hladinou hluku má řadu prokázaných nepříznivých důsledků v oblasti chování a mezilidských vztahů, vede k podrážděnosti a pocitům nespokojenosti. Může však vést i k překrývání a maskování důležitých signálů, jako jsou domovní zvonek, telefon, alarm. Nejvíce citlivou skupinou jsou staří lidé a zejména malé děti v období osvojování řeči.

Nepříznivé ovlivnění spánku se prokazatelně projevuje obtížemi při usínání, probouzením, změnami délky a hloubky spánku, zejména redukcí fáze REM (rapid eyes movements). Efekt narušeného spánku se projevuje i následující den např. rozmrzelostí, zhoršenou náladou, snížením výkonu, bolestmi hlavy nebo zvýšenou únavou. Objektivně bylo prokázáno i zvýšení spotřeby sedativ a léků na spaní. K narušení spánku vede jak ustálený, tak i proměnný hluk.

Ovlivnění kardiiovaskulárního systému bylo prokázáno v řadě epidemiologických studií a laboratorních pokusů. Naznačují, že účinky hluku mohou být jak přechodné v podobě zvýšení krevního tlaku, tepu a vazokonstrikce, tak i trvalé ve formě hypertenze a ischemické choroby srdeční.

Psychofyzilogické účinky hluku na lidském organizmu nejsou zatím jednoznačně prokázány. Nepředpokládá se, že by hluk mohl být příčinnou duševních nemocí, ale patrně se může podílet na zhoršení jejich symptomů nebo urychlit rozvoj latentních duševních poruch.

Nepříznivé ovlivnění výkonnosti hlukem bylo zatím sledováno převážně v laboratorních podmínkách u dobrovolníků. Zvláště citlivá na působení zvýšené hlučnosti je tvůrčí duševní práce a plnění úkolů s nároky na paměť, soustředěnou a trvalou pozornost a kompilované analýzy.

Nezanedbatelným aspektem je fakt, že u každého člověka existuje určitý stupeň senzitivity, respektive tolerance k rušivému účinku hluku. V normální populaci se vyskytuje 10 – 20 % vysoce senzitivních osob, stejný je i výskyt jedinců velmi tolerantních. U zbylých 60 – 80 % populace je míra obtěžování závislá na velikosti hlukové zátěže.

2.2 Hluk strojních zařízení

2.2.1 Zdroje hluku

Za hlavní příčiny vzniku hluku ve strojních zařízeních můžeme považovat jednak *kmitání částí strojních konstrukcí* a jednak *nestacionární proudění plynného nebo kapalného media*.

Ke **kmitání konstrukcí** dochází z důvodu působení budící síly na elastickou konstrukci stroje. Mechanické kmity se pak z místa působení síly přenášejí konstrukcí na rozměrnější povrchové plochy a ty je jednak vyzařují v podobě akustické energie do okolí a jednak je přenášejí do rámu nebo dalších částí v podobě chvění. Přitom se na přenosu a vyzařování zvukových vln podílí i ty díly stroje, které jsou ke konstrukci pevně připojeny a nejsou funkčně v poli působících sil, jako např. ochranné kryty, olejové vany, karoserie atd. Tak dochází ke vzniku hluku v okolí stroje a jeho dalšímu šíření.

Primárními příčinami vzniku budících sil jsou:

- ✦ nevyváženost rotujících částí – ventilátory
- ✦ náhlé změny sil – tvářecí stroje
- ✦ náhlé změny tlaků – spalovací motory
- ✦ náhlé změny rychlosti – ventilové rozvody
- ✦ nutné vůle v mechanismech – ozubená kola, valivá ložiska
- ✦ oddělovací procesy – obráběcí stroje, pily
- ✦ magnetostrikční účinky – transformátory

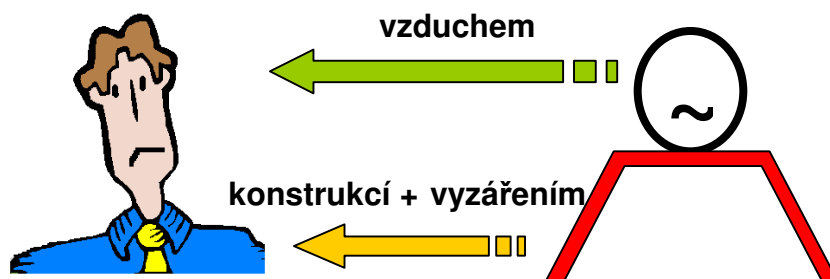
Zdroje hluku, jež vznikají vlivem neustáleného **proudění plynného nebo kapalného media**, se ve většině případů projevují přímo v místě, kde nastává určitá diskontinuita. Někdy i zde dochází k přenosu energie a k jejímu vyzáření mimo místo vzniku, ale tyto případy jsou vzácnější než v předešlém případě.

Hlavními příčinami vzniku hluku u těchto zdrojů bývá:

- ✦ výtok z trysky – hořáky
- ✦ náhlé změny tlaku – pneumatické nářadí
- ✦ náhlé změny rychlosti – vodní armatury
- ✦ sirénové účinky – radiální ventilátory
- ✦ turbulentní proudění – škrtící klapky, kohouty
- ✦ obtékání profilů – vyústky

2.2.2 Šíření hluku

Přenos zvukových vln od zdroje hluku do místa výskytu osob se může uskutečnit jen dvojím způsobem a to *vzduchem* nebo *pevnou konstrukcí v podobě chvění a jeho následným vyzářením do prostoru*. Zvukové vlny, jež se šíří od zdroje vzduchem do okolí, vytvářejí nepříznivé hlukové poměry nejen v bezprostřední blízkosti stroje, ale mohou působit i ve vzdálenějších místech okolního prostoru.



Obr. 4 Přenos zvukových vln od zdroje hluku k člověku

V konkrétních případech, s nimiž se v praxi setkáváme, převažuje buď jeden ze způsobů přenosu nad druhým, nebo se na celkovém hluku v okolním prostoru podílí oba přibližně stejně. Vzájemný poměr složek lze určit pouze měřením. Existuje však řada případů, kdy lze převládající složku určit bez měření, na základě subjektivního pozorování a zkušeností. Stanovení převládajícího způsobu přenosu je důležité, protože teprve potom je možné navrhnout účinné protihlukové opatření. V případě, že se na šíření hluku podílí oba způsoby přenosu, je nutné aplikovat úpravy obou kategorií.

2.2.3 Principy snižování hluku

V technice snižování hluku strojních a technologických zařízení nebo v pracovním a životním prostředí je nutné respektovat určité platné zásady, abychom měli jistotu, že navrhované úpravy budou účinné. Pro úspěšné zvládnutí problematiky snižování hluku je nezbytná důkladná analýza možných zdrojů hluku podpořená měřeními. Jedná-li se o stanovení protihlukového opatření ve stádiu projektu, kdy není možné provést ověřovací měření, je nutné využít zkušeností z obdobných případů. Tam, kde nevystačíme s technologickými prostředky k řešení dané situace, nezbyvá než ochránit člověka některými způsoby pasivní ochrany.

2.2.3.1 Tlumení hluku ve zdroji

Tlumení zvukových vln přímo v místě jejich vzniku je neúčinnějším a někdy i neekonomičtějším řešením. Omezení příčin, za nichž dochází buď k vyzařování akustické energie přímo nebo k rozkmitání konstrukce má být automatickou snahou konstruktéra. Velmi často však již základní funkce stroje a jeho výkonnost spočívá v procesech a fyzikálních jevech, jejichž nezbytným projevem je hluk a chvění. Patří sem například lis, vibrační dopravníky, spalovací motory. V těchto případech, je třeba najít takové cesty, které povedou ke zmírnění výsledného akustického projevu stroje. Zde se nabízí tyto možnosti:

Omezení náhlé změny sil a rychlostí mechanismů:

- ✦ snížením impulsů u nárazových mechanismů – snížení hmoty a rychlosti do sebe narážejících částí mechanismů
- ✦ tvorbou náběhových křivek u zdvihacích mechanismů – náběhové křivky se konstruuje tak, aby ke změnám zrychlení během zdvihů docházelo spojitě nikoliv skokem (vačkové hřídele)
- ✦ rozložením působící síly na delší dobu – dojde ke zmenšení vybuzeného kmitání (ozubená kola se šikmými zuby)
- ✦ vymezením mechanických vůlí – přesností výroby, opracováním styčných ploch, dodržení montážních tolerancí vymezit nutné vůle na minimum, vzájemné záběry a styky jsou potom bez rázů (ozubená kola, valivá ložiska)
- ✦ vyvážením rotujících dílů – hluk se projeví zejména při vyšších otáčkách (ventilátory, rotační stroje)

Omezení náhlé změny tlaků a rychlostí v plynech a kapalinách:

- ✦ omezováním možnosti vzniku turbulence – využití přechodových kusů s pozvolnou změnou průřezu, difusorů, kolen s dostatečným poloměrem zakřivení (potrubí, armatury, kohouty, klapky)
- ✦ omezováním možnosti vzniku sirénového hluku – zaoblení hran, zvětšení vzdálenosti stabilních a rotujících součástí, snížení rychlosti proudění (radiální ventilátory)

- ▲ omezováním náhlé změny tlaků – rozložením tlakové změny na delší čas (spalovací motory)
- ▲ snížením výtokové rychlosti – omezit náhlý přechod mezi vytékajícím proudem a okolním vzduchem, zvětšení průměru a počtu výstupních otvorů (trysky, hořáky)

Změna materiálu: může často vést ke snížení hlučnosti vyvolané pracovním procesem. Příznivě se zde uplatňují materiály s vyšším vnitřním tlumením. Mají schopnost lépe vzdorovat rozkmitání a přenesené kmity rychleji tlumit než tradiční konstrukční materiály jako je ocel, dural a litina. Na druhé straně většinou nedosahují jejich pevnostních parametrů, což limituje jejich použití. Možným řešením je kombinace s tradičními materiály a využití jejich tlumících schopností v místech, kde nedochází k přenosu momentů a sil.

Například v místě turbulentního proudění dojde k menšímu rozkmitání potrubí vyrobeného z plastu na rozdíl od potrubí kovového, což vede ke snížení vyzařované akustické energie. Zde se jeví použití plastu jako velmi vhodné, naproti tomu v případě ozubených kol je použití plastového materiálu výhodné z hlediska tlumících vlastností, ale z hlediska pevnostních může být vyloučené.

Změna technologie: připadá v úvahu zejména ve výrobních procesech, kdy je možné hlučnou pracovní operaci nahradit operací méně hlučnou.

Změna charakteru hluku: je řešení, které využívá poznatku, že zvuk o vyšších frekvencích je snáze tlumitelný a vysoké tóny jsou při šíření vzduchem rychleji pohlcovány. Proto je někdy účelné nejprve změnit charakter zvuku a pak přistoupit k jeho tlumení. Zvýšení frekvencí ve spektru je možné dosáhnout např. zvětšením počtu zubů u převodů, počtu lopatek u ventilátorů, nebo válců u spalovacích motorů.

2.2.3.2 Tlumení hluku na cestě přenosu vzduchem

Tento princip využívá vlastností různých materiálů a konstrukcí, jejichž aplikací lze dosáhnout vytvoření lepších hlukových poměrů a nabízí větší možnosti než při tlumení hluku ve zdroji samotném. Níže uvedené úpravy je možné využít samostatně, ale v převážné většině případů představují používané protihlukové úpravy jejich kombinaci.

Využití neprůzvučnosti: vychází z fyzikální vlastnosti materiálu, ze kterého je vytvořena stěna oddělující prostor, v němž se nachází zdroj hluku, od okolí. Kvantitativně lze tuto vlastnost vyjádřit stupněm vzduchové neprůzvučnosti, který závisí zejména na hustotě a tloušťce materiálu a kmitočtu generovaného hluku. Výslednou neprůzvučnost lze zvýšit násobností stěny – dvojitě, trojitě příčky oddělené mezerou. V praxi se realizují kryty strojů, oddělené prostory a podobně.

Využití pohltivosti: má svou podstatu v absorpci zvukových vln materiálem, na který vlny dopadají. Schopnost pohlcení zvuku závisí na struktuře materiálu, na jeho tloušťce, hmotnosti, tvaru a způsobu připevnění. Liší se pro různé kmitočty hluku. Absorpční materiály mohou být vláknité nebo pórovité a musí obsahovat množství otevřených vzduchových buněk, v nichž se zvukové vlny tlumí. Příkladem použitým v praxi jsou obklady místností a prostorů, závěsná akustická tělesa atd. Zvláštním případem jsou absorpční tlumiče. Bývají to části potrubí většího průřezu, v nichž je uspořádán pohltivý materiál tak, aby s ním zvuková energie přišla do styku v maximální ploše. Mohou být realizovány jako přímé, zalomené, kulisové nebo komorové

Náhlé změny průřezu: v těchto místech nastává částečný odraz zvukových vln a s tím spojené snížení výsledné zvukové energie. Na tomto principu pracují reflexní tlumiče, které jsou hojně využívány v dopravních prostředcích, pístových kompresorech a podobně. O velikosti útlumu způsobeného reflexí rozhoduje tvar a rozměry tlumiče a také frekvence hluku.

Určitého útlumu lze dosáhnout také v místech **změny směru proudění** a v místech **rozdělení proudu** do více větví. V těchto případech je ale nutné počítat, se vznikem turbulence, která se stává zdrojem dalšího hluku.

2.2.3.3 Tlumení hluku na cestě přenosu pevnou konstrukcí

Tlumení na cestě přenosu konstrukcí je vhodné realizovat v případě, kdy tato složka přenosu převládá nad složkou šířenou vzduchem. Často je toto řešení uplatňováno ve stavebnictví, ale i v konstrukci dopravních prostředků a rozměrnějších strojů. Technické prostředky, které umožňují tlumení provést jsou následující:

Využití diskontinuit v konstrukci: to se týká zejména stavebních a strojních konstrukcí, ve kterých dochází ke zúžení nebo rozšíření průřezu, zalomení nebo

větvení. Tato místa způsobí částečný odraz přenášené energie a výsledný útlum přenášeného vlnění.

Využití vlastností pružných vložek: vychází z principu útlumu vlnění přenosem z jednoho materiálu do jiného. Výsledný útlum je tím větší, čím jsou oba materiály co do hustoty a tvrdosti rozdílnější. Z tohoto důvodu se používají různé gumokovové členy (silentbloky), pryžové kompenzátory, pružné spojky atd. Důležité je zajistit, aby vlny neměly jinou možnost přechodu než přes pružnou vložku.

Využití vnitřního tlumení: jedná se o schopnost materiálu utlumit kmitání vnitřním třením molekul. K materiálům s vysokým tlumením patří plast, pryž, korek, dřevo. Jejich použití v konstrukcích je z důvodu pevnostních vlastností omezené, ale je možné jich využít v kombinaci s tradičními materiály. V praxi se používají antivibrační nátěry, polepy (plstěné, pryžové, korkové), sendvičové (vícevrstevné) konstrukce.

Omezení vyzařování z konstrukce: množství vyzářené energie závisí na velikosti povrchu kmitajícího tělesa a na amplitudě kmitání. Je proto vhodné rozdělit povrch na menší plochy nebo snížit amplitudy. Toho lze docílit výztuhami nebo prolisy, změnou materiálu, zvětšením tuhosti a tloušťky stěny, tlumícími materiály.

3 Současné řešení zametacího stroje

Firma KOBIT s.r.o. Jičín, výrobce strojů pro údržbu a opravu silnic nabízí ve svém sortimentu několik typů samosběrných zametačů, které se liší zejména svou velikostí a s tím spojeným účelem použití. Pro návrh konstrukčních úprav vedoucích ke snížení hluku byl zvolen samosběrný zametač K6.



Obr. 5 Samosběrný zametač K6

3.1 Popis zametače K6

Samosběrný zametací stroj K6 vzniká spojením zametací nástavby s podvozkem nákladního automobilu různých výrobců (MAN, MB, Tatra atd.). Nástavba se skládá z velkého množství komponentů a zařízení, které se podílí na plnění požadované funkce celého stroje.

3.1.1 Popis nástavby

Hlavním nosným prvkem nástavby je ocelový rám (2), doplněný pomocným rámem (3) nesoucím pohonnou jednotku (4) a ventilátor (5). Pohonnou jednotkou je pístový spalovací motor, jehož točivý moment je přes vzduchem ovládanou třecí spojku (16) a řemenový převod veden k ventilátoru (5).

Na rámu je dále umístěn sklopný zásobník nečistot (6) s objemem 6 m³, v jehož spodní části je integrována 1300 litrová nádrž na vodu (15). K vyprazdňování zásobníku slouží zadní výklopná vrata (11).

Odstranění nečistot z čištěného povrchu zajišťuje zametací agregát umístěný mezi nápravami vozu. Ten se skládá z válcového koštěte (9) a vozíku s talířovým kartáčem (8) a sací hubicí (7). V zadní části zásobníku je instalována další odsávací

hadice s koncovkou (10) pro ruční manipulaci, sloužící např. k čištění kanálových vpustí.

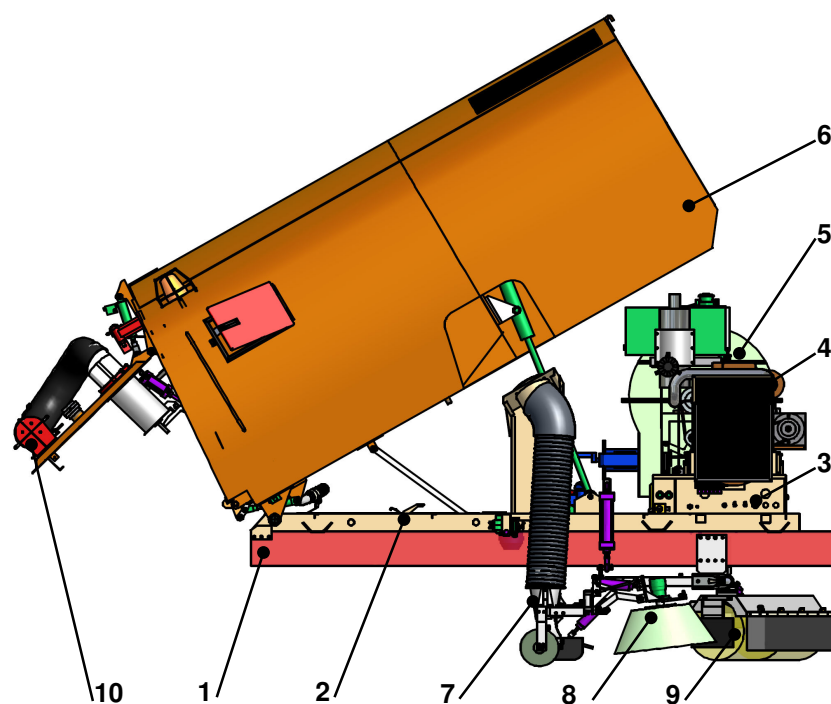
Součástí nástavby jsou také tři provozní okruhy – hydraulický, pneumatický a vodní.

Hydraulický okruh slouží k pohonu vodního čerpadla, pohonu talířového kartáče a válcového koštěte, k otvírání vrat zásobníku a jeho vyklápění. Zdrojem je čerpadlo poháněné pohonnou jednotkou nástavby.

Pneumatický okruh zajišťuje nastavení polohy zametacího agregátu, ovládání sacích uzávěrů, ovládání spojky a bezpečnostní tyče sklápění zásobníku. Zdrojem vzduchu je kompresor na motoru vozu.

Vodní okruh je využíván ke zkrápění čištěného povrchu, k tvorbě vodní clony a k čištění stroje pomocí vysokotlakého ručního mycího zařízení. Jako zdroj slouží čerpadlo poháněné hydromotorem.

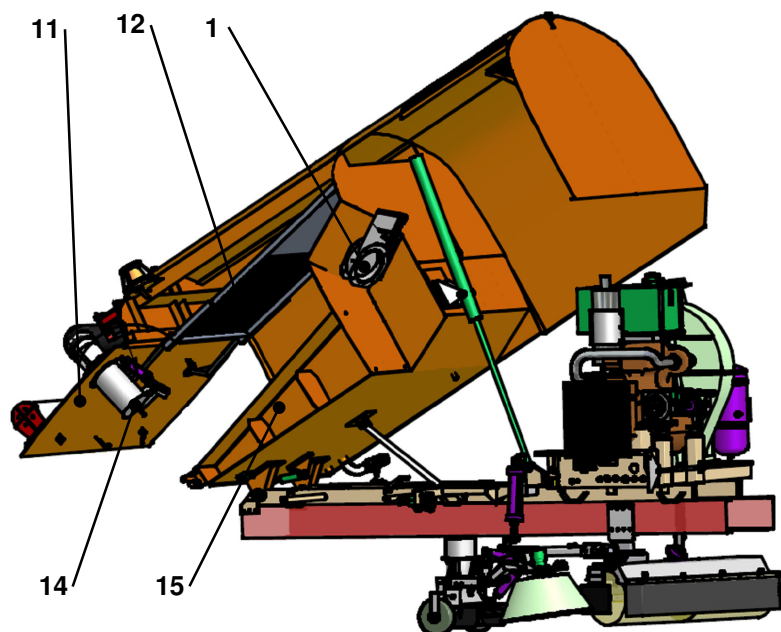
3.1.2 Schéma nástavby s popisem



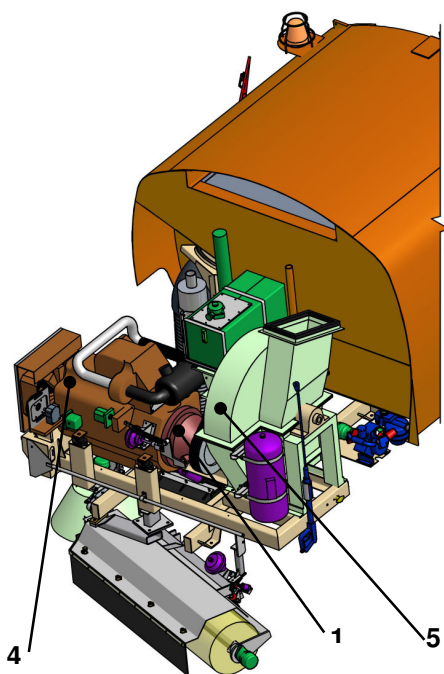
Obr. 6 Nástavba– pohled zprava

Popis obrázku 6:

- | | | |
|--------------------|--|--|
| 1 – rám automobilu | 3 – rám pohonné jednotky a ventilátoru | 7 – sací hubice |
| 2 – rám nástavby | 4 – pohonná jednotka | 8 – talířový kartáč |
| | 5 – ventilátor | 9 – válcové koště |
| | 6 – zásobník nečistot | 10 – zadní odsávací hadice s koncovkou |



Obr. 7 Nástavba – pohled z předu (KOBIT)



Obr. 8 Nástavba– pohled z předu

Popis obrázků 7 a 8:

- 4 – pohonná jednotka
- 5 – ventilátor
- 11 – zadní vrata
- 12 – odlučovací síto
- 13 – sací uzávěr
- 14 – zadní klapka
- 15 – nádrž na vodu
- 16 – spojka ventilátoru

Barevné značení v obrázcích 6 - 8:

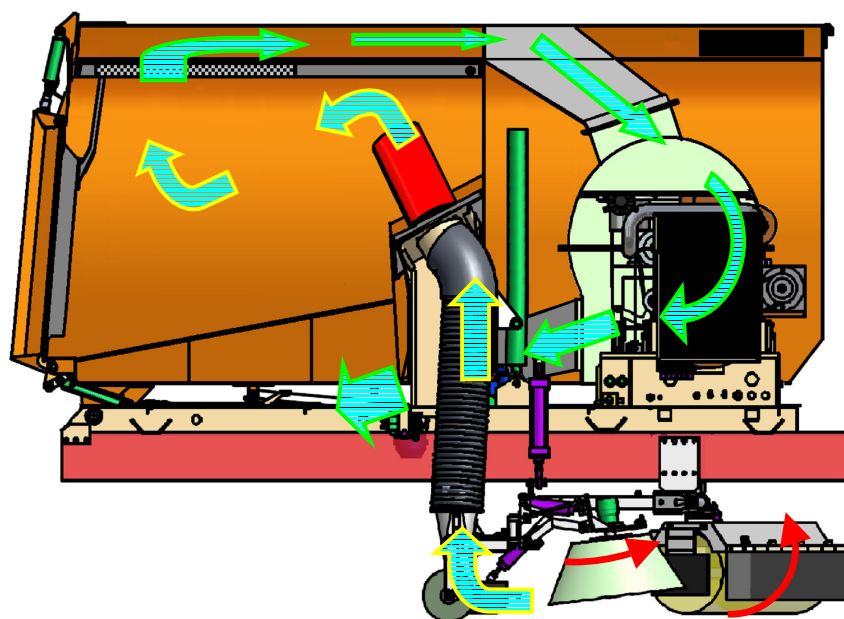
- prvky hydraulického okruhu
- prvky pneumatického okruhu
- prvky vodního okruhu

3.1.3 Popis funkce zametače

Funkce zametacího stroje spočívá v odstranění nečistot z čistěného povrchu. Toho je docíleno působením koštěte, kartáče, případným zkrápěním vodou a následným odsátím.

Rotační kartáč a válcové koště soustředí nečistoty do míst, odkud jsou pomocí sací hubice odsáty a proudem vzduchu přivedeny až do zásobníku. Zde dojde vlivem výrazného poklesu rychlosti vzduchu k jejich oddělení. Vzduch je dále veden přes odlučovací síta, která zajistí dodatečné odstranění zbylých nečistot. Ze zásobníku proudí vzduch svodem do ventilátoru a difuzorem umístěným za ventilátorem je veden pod zásobník do prostoru šasi vozu. Celý princip proudění vzduchu je znázorněn na obrázku 9.

K vyprázdnění zásobníku dochází po otevření zadních vrat a jeho následném vyklopení, které způsobí samovolné vysypání nashromážděného materiálu.



Obr. 9 Princip funkce samosběrného zametače

3.2 Zametač jako zdroj hluku

Z popisu funkce zametače je zřejmé, že největší podíl na celkovém akustickém projevu stroje v provozu mají hluk vyvolaný pohonnou jednotkou nástavby a hluk způsobený prouděním vzduchu v systému odsávání nečistot.

V potaz neberu hluk produkovaný pohonnou jednotkou vozidla, protože ten je věcí výrobce samotného nákladního vozu a výrobci nástavby nepřísluší ho jakkoliv redukovat. Předmětem zkoumání a úprav nebude ani neodstranitelný hluk vyvolaný provozem kartáče a koštěte.

3.2.1 Hluk vyvolaný pohonnou jednotkou nástavby

Na vibracích a hluku spalovacích motorů se různou měrou podílí sání, výfuk, komprese, spalování, klikový mechanismus, rozvodový mechanismus a celkový projev motoru je velmi závislý na jeho konstrukčním provedení. Více informací včetně vztahů pro výpočet uvádí [1].

Pro motory je základní kmitočet určen zážehovou frekvencí jednoho válce:

$$f_1 = \frac{n}{d \cdot 60} \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

Ve frekvenčním spektru víceválcových motorů se dále objevují složky:

$$f_k = f_1 \cdot k \quad k = 1, z, \frac{3}{2}z, 2z, \dots \quad (2)$$

Pohonnou jednotkou je čtyřdobý vznětový čtyřválcový vodou chlazený motor IVECO s objemem válců 4,5 litrů, který dosahuje maximálního výkonu 74 kW při otáčkách 2300 min^{-1} a disponuje točivým momentem 398 Nm při otáčkách 1400 min^{-1} . Pro tento motor vychází frekvence podle (1,2) při provozních otáčkách 1350 min^{-1} :

k	1	4	6	8
f _k [Hz]	11,25	45	67,5	90

Tab. 1 Frekvence pohonné jednotky

3.2.2 Hluk vyvolaný prouděním vzduchu

V tomto případě je možné za příčinu hluku považovat vysoce turbulentní proudění oběžným kolem a spirální skříní ventilátoru. Tento hluk je charakterizován spojitým širokopásmovým spektrem, jehož akustický výkon roste s mocninou rychlosti proudění vzduchu. Tento základní hluk může být překryt sirénovým hlukem, jehož spektrum je diskrétní. Pro frekvenci sirénového zvuku ventilátoru platí vztah (3) uvedený v [2]:

$$f = \frac{n}{60} \cdot z_L \cdot k \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Aerodynamický hluk ventilátoru se šíří zejména vzduchovody, sací i výtlačnou větví a jeho charakter a intenzita souvisí s velikostí a konstrukčním provedením ventilátoru.

V zametacím stroji K6 je použit radiální ventilátor jehož výrobcem je Vzduchotechnika Prachatice. Disponuje oběžným kolem o průměru 715 mm s dvanácti lopatkami šířky 75 mm. Při provozních otáčkách motoru 1350 min^{-1} dosahuje sacího výkonu $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Pro výpočet frekvence sirénového hluku ventilátoru jsou důležité otáčky oběžného kola, které jsou závislé na řemenovém převodu ($i = 0,47$) a plynou ze vztahu:

$$n = n_m \cdot \frac{1}{i} \quad (4)$$

Dosazením do (3) vyjde frekvence sirénového zvuku a první dvě harmonické:

k	1	2	3
f [Hz]	575	1150	1725

Tab. 2 Sirénové frekvence ventilátoru

Další hluk v systému odsávání nečistot způsobují samotné elementy systému, v kterých dochází vlivem vysoké rychlosti proudění k hydraulickým ztrátám a ty se z části projeví jako vibrace a hluk.

3.2.3 Současné protihlukové úpravy používané výrobcem

Výrobce již používá některá řešení, jež mají přispět ke zmírnění výsledného hlukového projevu stroje.

Jedním z těchto řešení je odhlučnění technologického prostoru, kde se nachází ventilátor a pohonná jednotka (obrázek 10). Stěny tohoto prostoru jsou obloženy deskami z pohltivého materiálu o síle 50 mm dodávaného firmou MA-DONA Tábor pod obchodním názvem TECNOCELL N. Jedná se o reliéfní pórovitou polyuretanovou pěnu – podrobný popis je uveden v příloze. Tyto pěnové

desky mají za úkol absorbovat hluk vyvolaný ventilátorem a motorem a zároveň zabráňují rozkmitání kovových boků nástavby vlivem zvukových vln.



Obr. 10 Odhlučnění tech. prostoru

Pohonná jednotka je v rámu uložena pružně na silentblocích, čímž je eliminován přenos vibrací do konstrukce. Ze stejného důvodu jsou v místě uložení ventilátoru použity pružné plastové pásky (obrázek 11).



Obr. 11 Uložení ventilátoru

Hluk, způsobený nárazem nasávaného materiálu do stěn sací hubice je omezen vrstvou pryže o síle 5 mm, nalepenou na vnitřních stěnách hubice. Tím jsou také sníženy vibrace stěn vyvolané prouděním vzduchu v ní.

Dalšího ovlivnění hluku vyvolaného prouděním je dosaženo umístěním desky s absorpčním materiálem v místě vyústění difuzoru, která odvádí proud vzduchu dále pod zásobník, mezi šasi vozu (obrázek 12).



Obr. 12 Usměrňovací deska



Výrobce průběžně přichází s novými úpravami, kterými se snaží dosáhnout celkového zmírnění hlukového projevu stroje v provozu.

3.3 Hluk zametacího stroje z legislativního hlediska

Legislativní zázemí regulující hluk zametacích strojů vychází z nařízení vlády, kterým se stanovují technické požadavky na výrobky z hlediska emisí hluku v souladu se směrnicemi Evropského parlamentu, uveřejněném ve Sbírce zákonů č. 9/2002.

Zákon mimo jiné vymezuje pojem samosběrný zametač dle paragrafu 2 odstavce 48, který uvádí: *Samosběrným zametačem se rozumí shrnovací sběrací stroj vybavený zařízením pro nahrnutí odpadů do cesty sacího proudu vzduchu, který pak pneumaticky vysokou rychlostí proudu vzduchu nebo mechanickým sběrným systémem dopraví odpadní materiál do násypky zásobníku; shrnovací a sběrací zařízení může být buď namontováno na vhodný podvozek nákladního vozidla, nebo zabudováno do vlastního podvozku; zařízení může být pevně vestavěno nebo může být odnímatelné jako u systémů s výměnnou nástavbou.*

Pro tyto stroje nejsou zákonem nařizeny limity hlukových emisí, je pouze požadováno, označit zařízení údajem o *garantované hladině akustického výkonu*.

V příloze 3 tohoto zákona jsou stanoveny metody měření hluku vyzařovaného zařízeními určenými k použití ve venkovním prostoru a šířeného vzduchem. Pro samosběrné zametače je jako základní uvedena norma ČSN EN ISO 3744, která vychází z měření akustického tlaku v přesně definovaných bodech rozmístěných na pomyslné polokulové ploše určeného poloměru vymezené okolo měřeného zařízení. Příloha dále předepisuje konkrétní požadavky provozních parametrů jednotlivých zařízení zametače při zkoušce, dobu měření, korekce na vliv prostředí, výpočet akustického výkonu atd.

V souladu s normou a s dodržením požadovaných podmínek uvedených ve zmiňované příloze zákona bylo pracovníkem TÜV provedeno měření hladiny akustického výkonu zametacího stroje K6. Výsledkem byla hodnota **$L_{WA} = 102 \text{ dB}$** , kterou výrobce používá jako garantovanou hladinu akustického výkonu zařízení.

3.4 Měření hluku zametače K6

Před samotným zpracováním návrhu úprav vedoucích ke snížení hluku zametacího stroje bylo zapotřebí přesně určit, které zdroje hluku mají největší vliv na celkovém hlukovém projevu stroje a lokalizovat problematická místa, ve kterých

dochází k největšímu vyzařování akustické energie. Za tímto účelem jsem provedl měření a získaná data jsem dále zpracoval.

3.4.1 Parametry měření

Měření proběhlo dne 14. 12. 2005 v areálu firmy KOBIT v Jičíně za asistence pana doc. Němečka a pana ing. Bláhy. Nutnými podmínkami měření bylo, aby prostor, v němž se nacházel měřený objekt, neobsahoval žádná další tělesa, která by mohla způsobit odraz zvukových vln, aby se v prostoru nevyskytoval jiný zdroj hluku, jenž by mohl nepříznivě ovlivnit naměřené hodnoty a konečně aby bylo umožněno připojení ke zdroji elektrické energie nezbytné k napájení měřícího zařízení. Všechny tyto podmínky venkovní prostor v areálu firmy KOBIT splňoval.

Měřeným objektem byl samosběrný zametací stroj K6 na automobilovém podvozku MAN, který byl vybaven zametacím zařízením s odsáváním na levé i pravé straně nástavby. K měření byl použit zvukoměr Brüel&Kjaer 2148 s příslušenstvím, který zapůjčila Technická univerzita v Liberci.



Obr. 13 Samosběrný zametač K6

Princip měření spočíval ve zjišťování velikosti hladiny akustického tlaku ve vhodně zvolených bodech v nejbližším okolí stroje, zejména v místech, kde se dala předpokládat jeho vysoká hodnota.

3.4.2 Volba bodů pro měření

Při volbě bodů, ve kterých probíhalo měření, jsem vycházel z předpokladu, že největší koncentrace hluku bude v místě, kde se nachází zametací zařízení s odsáváním. Právě v tomto místě jsem vytyčil obdélníkovou plochu o rozměrech 140 x 80 cm, v níž jsem pravidelně rozmístil 40 bodů. Kolmá vzdálenost plochy od boku zásobníku byla 20 cm a výška spodní řady bodů od země činila 10 cm. Tento stroj

disponoval zametacím zařízením po obou stranách vozu, proto jsem identickou plochu vytyčil také na druhém boku zametače ve stejném místě.

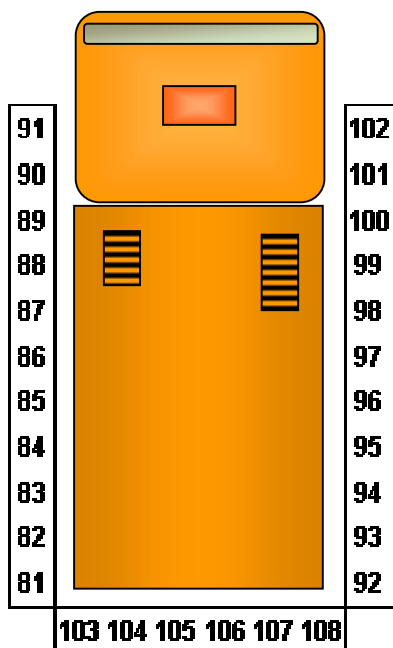


Obr. 14 Měřená plocha na pravém boku zametače

levý bok					pravý bok				
41	42	43	44	45	1	2	3	4	5
46	47	48	49	50	6	7	8	9	10
51	52	53	54	55	11	12	13	14	15
56	57	58	59	60	16	17	18	19	20
61	62	63	64	65	21	22	23	24	25
66	67	68	69	70	26	27	28	29	30
71	72	73	74	75	31	32	33	34	35
76	77	78	79	80	36	37	38	39	40

Obr. 15 Rozmístění bodů na bocích vozu

Protože, měření provedené pouze v takto vytyčených plochách nedává ucelenou představu o hlukových emisích v okolí celého stroje, bylo nezbytné provést další měření v jiných místech stroje. K tomuto účelu jsem zvolil řady bodů rozmístěných pravidelně po obvodu nástavby. Body jsem umístil do výše 110 cm od země, jejich kolmá vzdálenost od zásobníku nečistot činila 30 cm. Vzájemná vzdálenost mezi jednotlivými body v jedné řadě byla 50 cm. Přesné rozmístění jednotlivých bodů je názorně zobrazeno na následujících obrázcích.



Obr. 16 Rozmístění bodů po obvodu



Obr. 17 Rozmístění bodů po obvodu

3.4.3 Průběh měření

Do všech vytyčených bodů jsem postupně umisťoval mikrofon a vyčkal deset sekund, během kterých měřicí přístroj vyhodnotil a uložil hodnoty akustického tlaku v třetinooktávových pásmech akustického rozsahu od 0,4 Hz do 20 kHz (lineární) a



Obr. 18 Měření

celkovou hladinu akustického tlaku váženou váhovým filtrem A a lineární. V průběhu měření v plochách na bocích zametače bylo zapnuto odsávání vždy na té straně, na které probíhalo měření, zatímco při měření v bodech po obvodu nástavby bylo v provozu pouze odsávání na pravé straně vozu. Ve všech případech běžela pohonná jednotka ventilátoru v provozních otáčkách 1350 min^{-1} , sací hubice byla spuštěna v pracovní poloze u země, rotační kartáč ani válcové koště nebyly v provozu. Pohonná jednotka vozu byla v klidu.

3.4.4 Výsledky měření

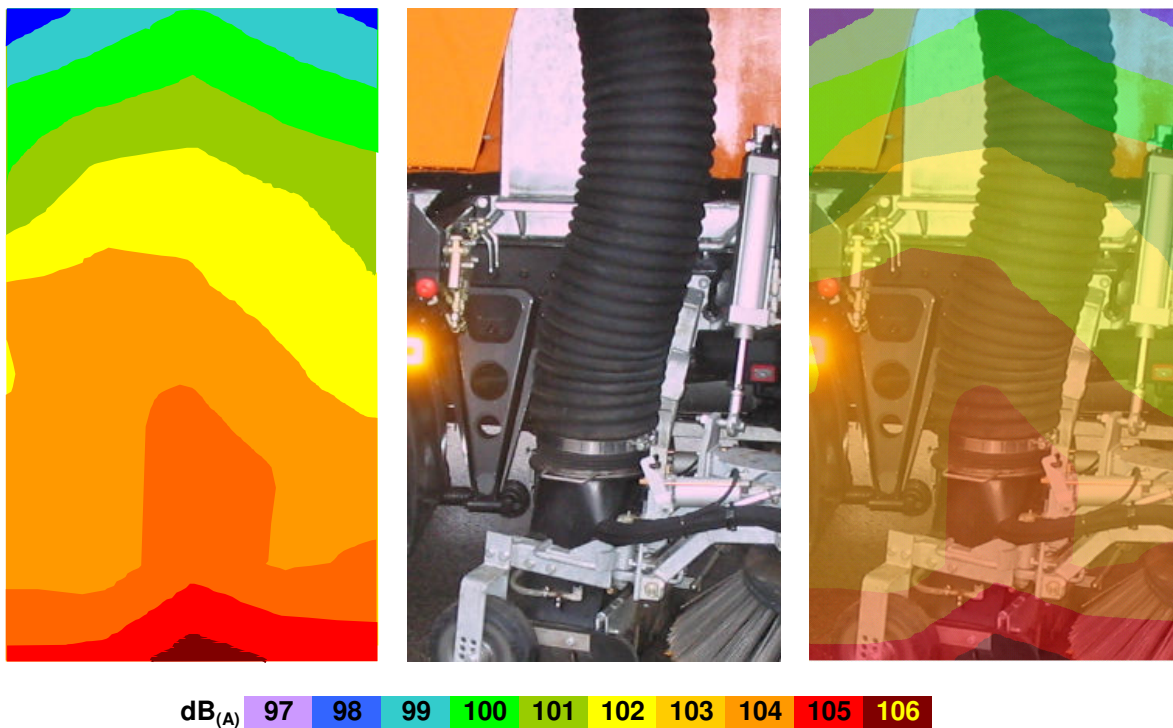
Získané hodnoty celkové hladiny akustického tlaku vážené filtrem A v příslušných bodech jsou uvedeny v tabulce 3. Všechna data zaznamenaná měřícím přístrojem jsou zpracována v přehledné tabulce uvedené na CD.

měřený bod	$L_{p(A)}$ [dB]	měřený bod	$L_{p(A)}$ [dB]	měřený bod	$L_{p(A)}$ [dB]	měřený bod	$L_{p(A)}$ [dB]	měřený bod	$L_{p(A)}$ [dB]	měřený bod	$L_{p(A)}$ [dB]
1	97,76	19	102,09	37	104,82	55	101,67	73	104,23	91	87,35
2	98,82	20	101,55	38	105,97	56	102,47	74	102,89	92	98,52
3	99,6	21	102,42	39	105,38	57	101,83	75	102,73	93	99,03
4	98,89	22	103,43	40	105,01	58	103,41	76	105,15	94	98,66
5	98,23	23	103,46	41	98,07	59	102,75	77	104,91	95	99,39
6	99,86	24	102,75	42	100,07	60	102,3	78	104,75	96	101,27
7	100,42	25	101,97	43	99,93	61	102,49	79	105,22	97	99,79
8	100,89	26	102,84	44	99,58	62	102,68	80	104,94	98	96,92
9	100,19	27	102,94	45	99,25	63	104,75	81	97,15	99	96,45
10	99,74	28	104,16	46	100,33	64	104,84	82	97,93	100	95,04
11	100,7	29	103,46	47	101,55	65	103,55	83	97,55	101	92,57
12	102,14	30	103,22	48	101,81	66	103,27	84	97,93	102	89,27
13	102,19	31	103,06	49	101,39	67	103,27	85	99,79	103	97,22
14	101,57	32	102,89	50	101,32	68	104,77	86	97,65	104	98,19
15	101,13	33	104,16	51	101,34	69	104,28	87	97,65	105	101,86
16	102,63	34	103,38	52	101,17	70	103,67	88	95,74	106	99,93
17	102,77	35	103,6	53	102,28	71	104,51	89	93,32	107	99,81
18	102,63	36	104,68	54	102,11	72	104,16	90	90,07	108	98,7

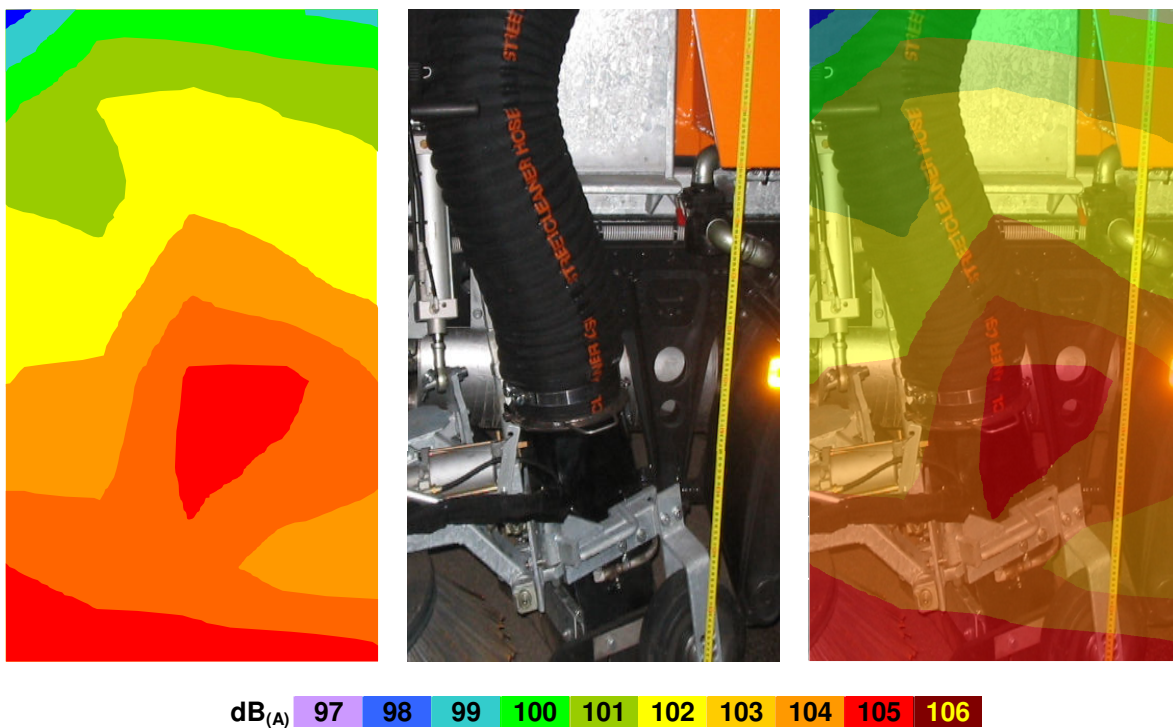
Tab. 3 Hodnoty $L_{p(A)}$

3.4.5 Zpracování výsledků měření

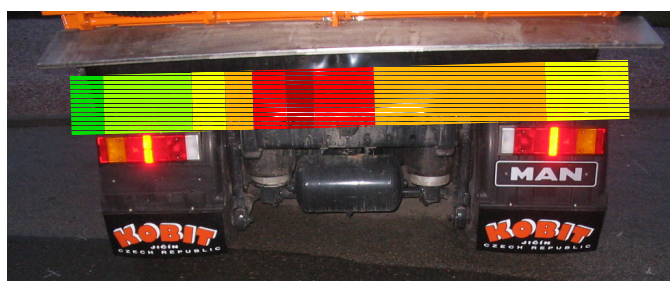
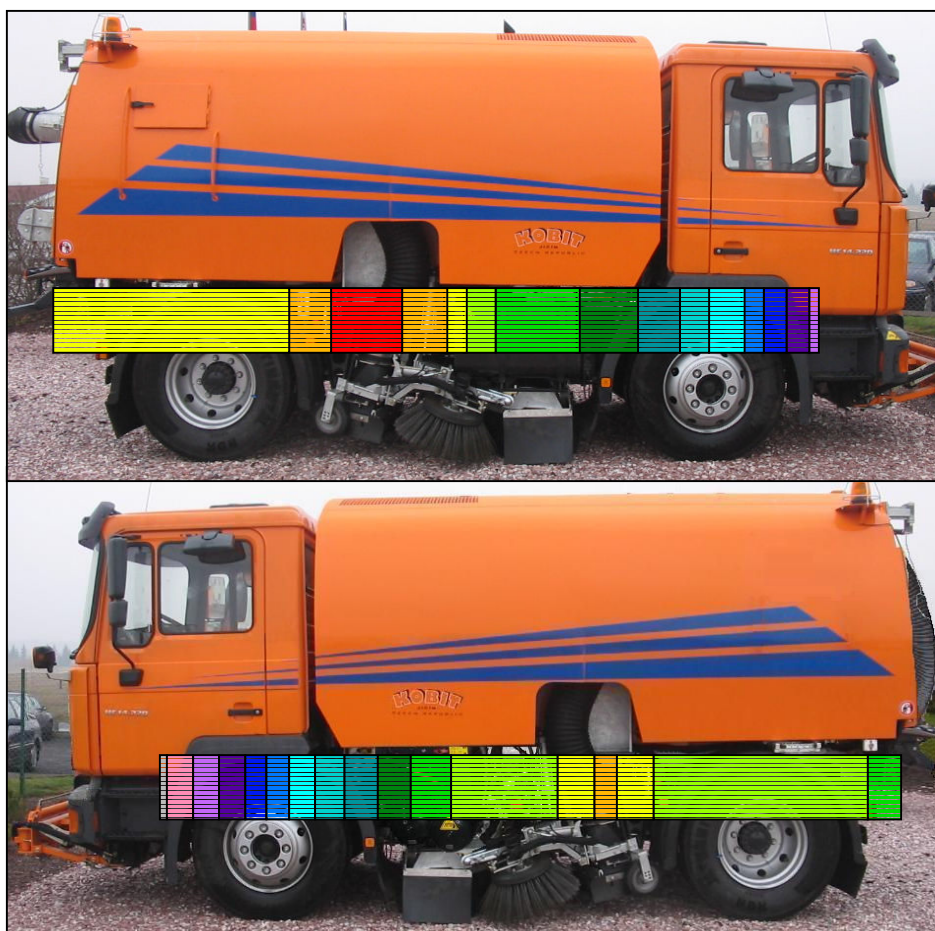
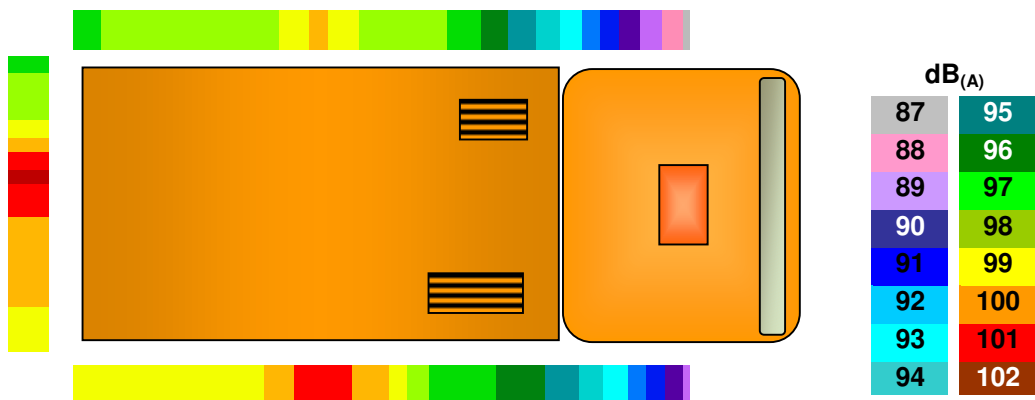
Z naměřených hodnot celkové hladiny akustického tlaku váhovým filtrem A jsem s využitím metody lineární interpolace a pomocí programů MS Excel a MS Visual Basic sestavil hlukové mapy na bocích a po obvodu stroje. Tyto mapy barevně zobrazují oblasti, ve kterých dosahují hladiny akustických tlaků (po zaokrouhlení na celé číslo) stejných hodnot. Každá barva tedy vyznačuje plochu, v níž se velikost hladiny akustického tlaku pohybuje v rozmezí $-0,50$; $+0,49$ dB. Takto vytvořené hlukové mapy mají za úkol přispět k lokalizaci zdrojů hluku.



Obr. 19 Hluková mapa na pravém boku zametače

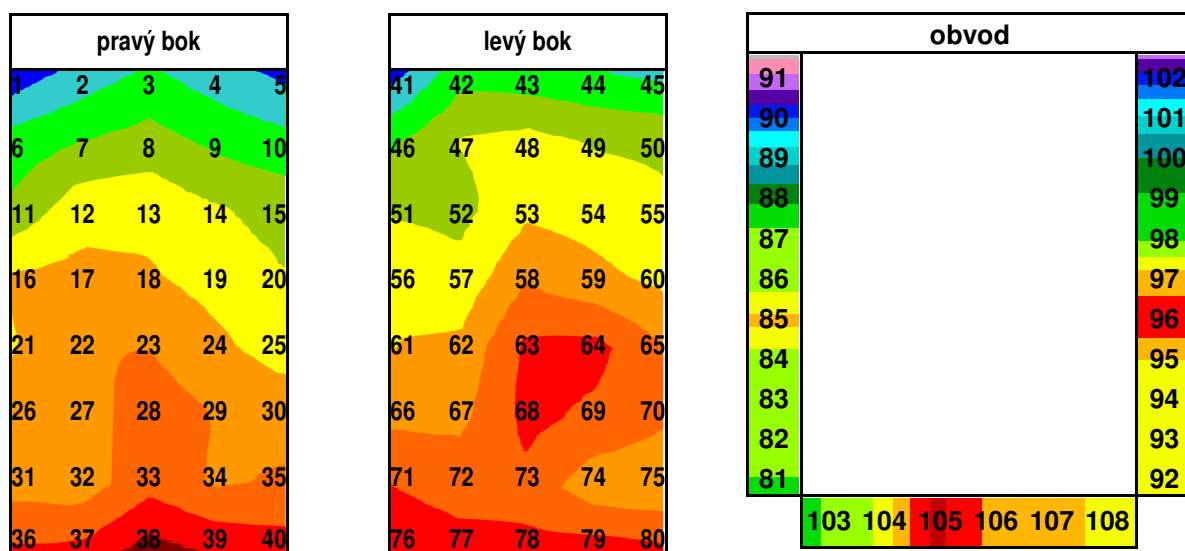


Obr. 20 Hluková mapa na levém boku zametače

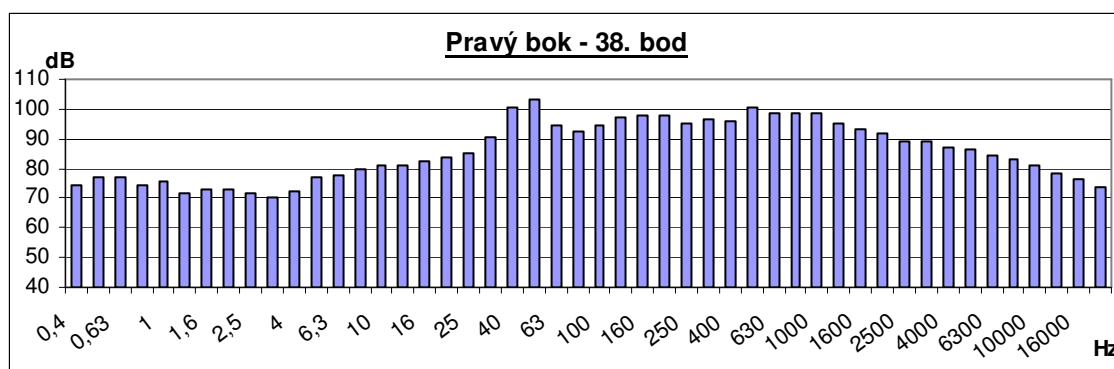


Obr. 21 Hlukové mapy po obvodu nástavby

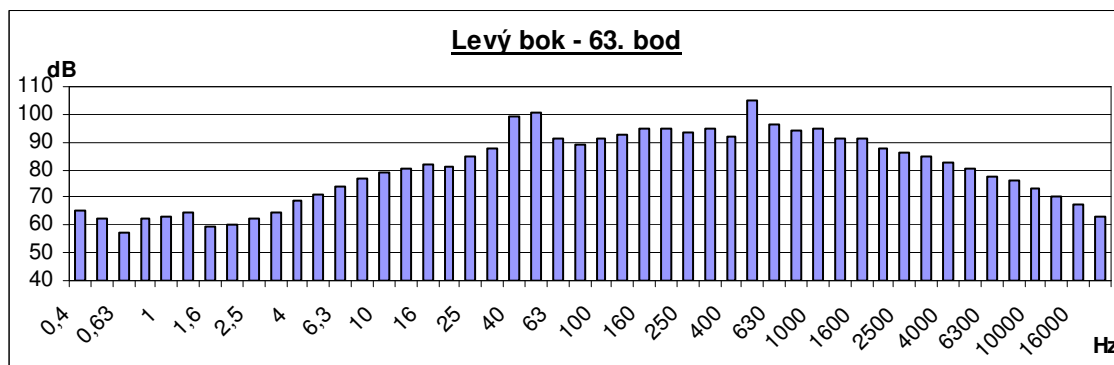
V dalším kroku jsem se zaměřil na body, ve kterých dosahovaly celkové hladiny akustického tlaku vysokých hodnot. Jednalo se zejména o body 28, 33, 36-40, 63, 64, 68, 76-80, 85, 96 a 105. Z hodnot získaných měřícím přístrojem jsem sestavil frekvenční spektra pro každý z uvedených bodů (všechna mnou vytvořená spektra jsou zobrazena v příloze na CD, zde pro názornost uvádím jen některá z nich).



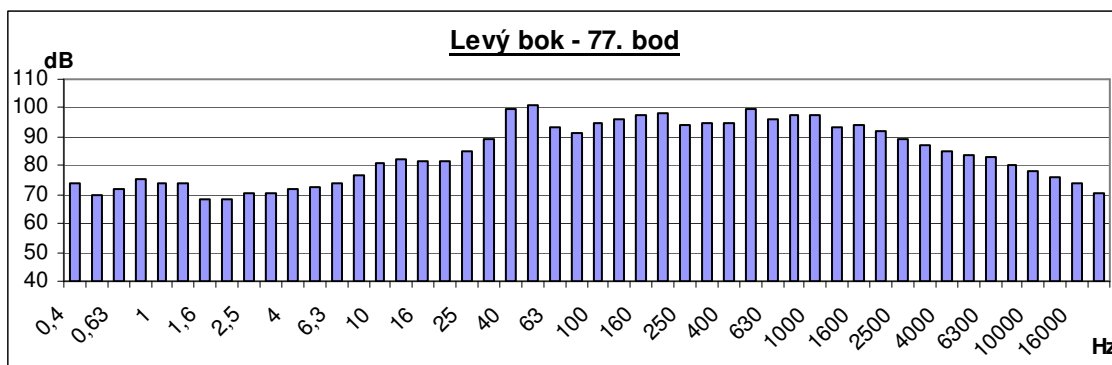
Obr. 22 Znázornění měřených bodů v hlukových mapách



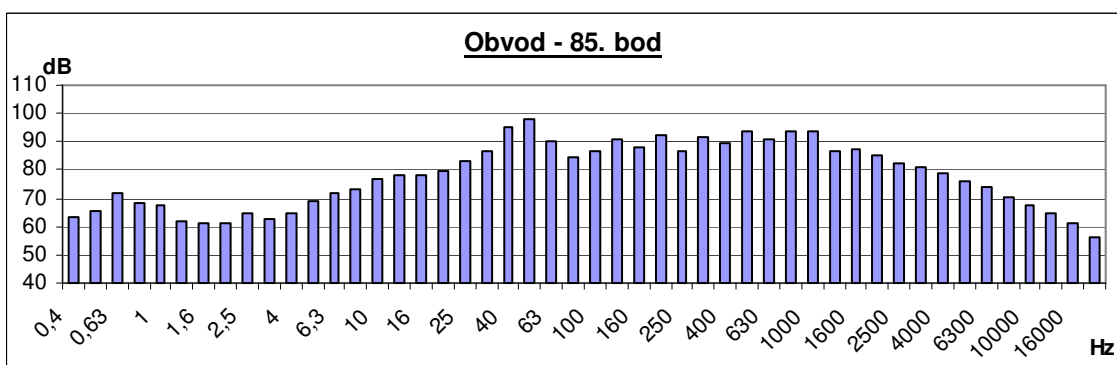
Graf 1 Frekvenční spektrum bodu 38



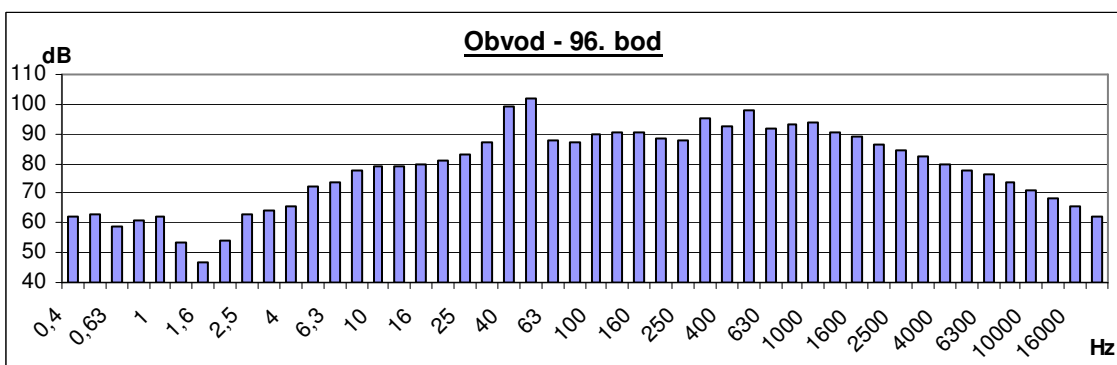
Graf 2 Frekvenční spektrum bodu 63



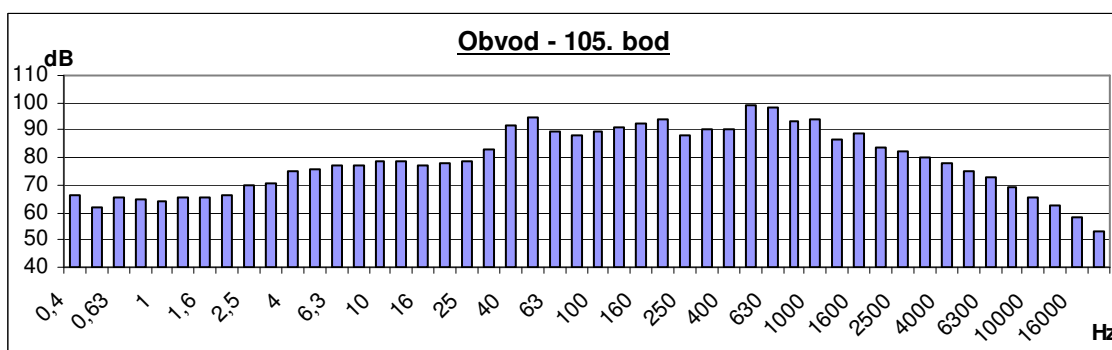
Graf 3 Frekvenční spektrum bodu 77



Graf 4 Frekvenční spektrum bodu 85



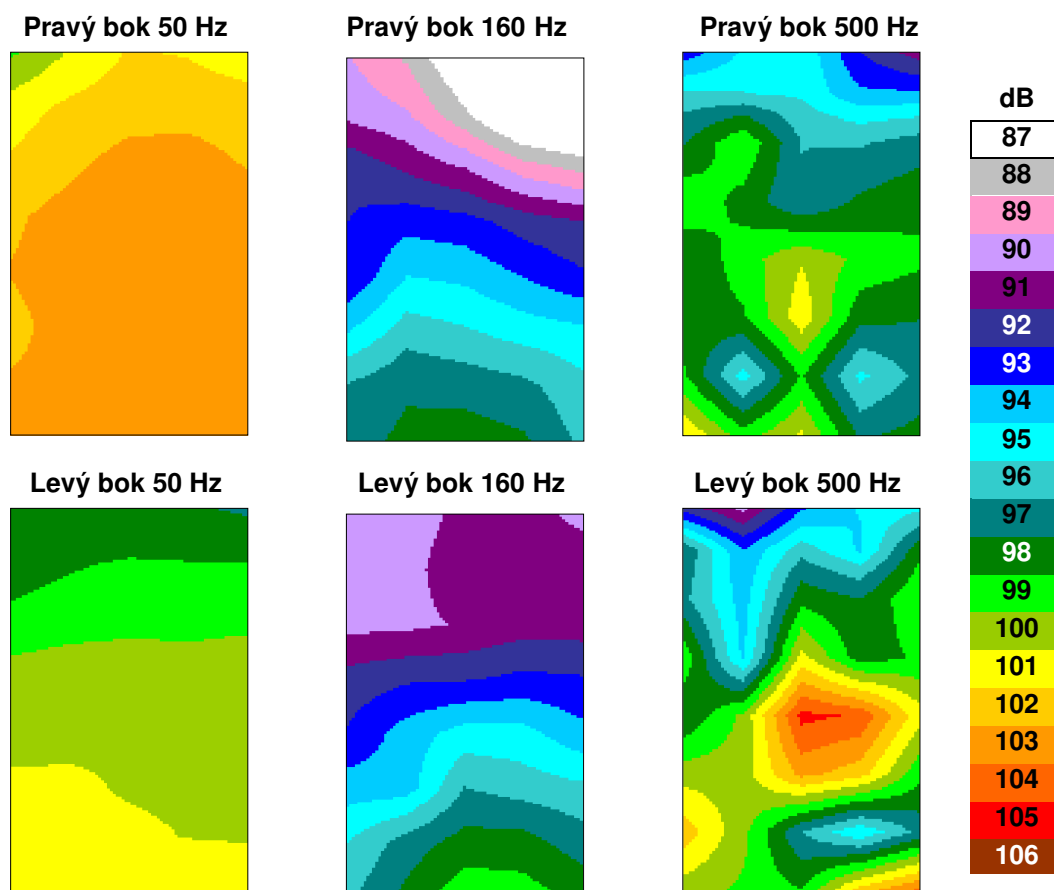
Graf 5 Frekvenční spektrum bodu 96



Graf 6 Frekvenční spektrum bodu 105

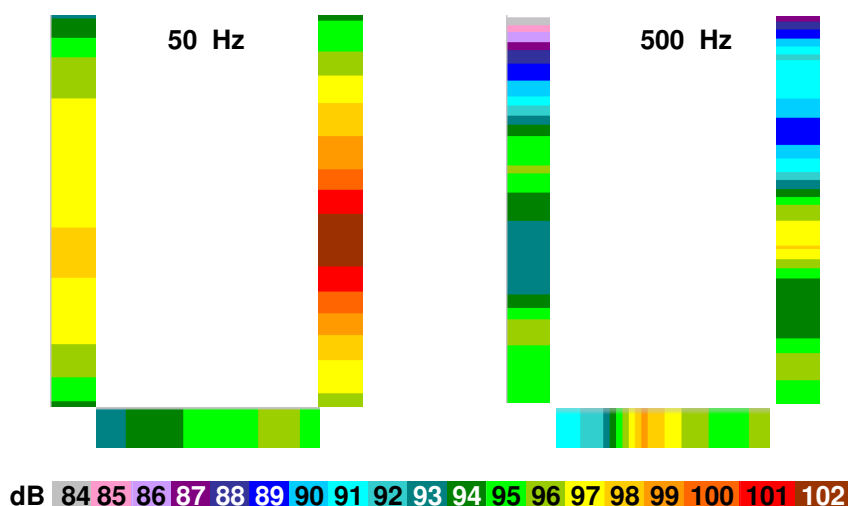
Pomocí takto získaných frekvenčních spekter je snadné určit, které frekvence se nejvíce podílí na celkovém hlukovém projevu stroje a které bude účelné potlačit, abych zajistil snížení celkové hlučnosti zametacího stroje.

Jako nejvýraznější se jeví frekvence v oblasti kolem 50 Hz, 160 Hz a v oblasti okolo 500 Hz. Sestavil jsem hlukové mapy také pro tyto frekvence. Hodnoty hladin akustického tlaku nejsou pro tyto frekvence vážené filtrem.



Obr. 23 Hlukové mapy na bocích zametače pro různé kmitočty

Poznámka: Pro zvuky o nízkých frekvencích je charakteristické, že se šíří do větší vzdáleností od zdroje a v hlukových mapách vytváří rozměrnější plochy stejných hladin akustického tlaku, na rozdíl od zvuků vysokofrekvenčních, které jsou snáze utlumitelné a jejich zobrazením v hlukových mapách vzniká větší počet menších ploch.



Obr. 24 Hlukové mapy po obvodu nástavby

Hluková mapa zobrazující hladiny akustických tlaků pro frekvenci 500 Hz po obvodu nástavby podává pouze zkrácené informace, což je způsobeno poměrně velkou vzdáleností jednotlivých bodů, ve kterých probíhalo měření, vzhledem k frekvenci pro kterou je zobrazení provedeno (souvislost s výše uvedenou poznámkou). Přesto lze z této mapy získat použitelnou informaci, jež bude dále uvedena v kapitole 3.5.2.

Z takto zpracovaných výsledků měření je dále možné přistoupit k vyhledání lokálních zdrojů hluku a k následným protihlukovým úpravám zametacího stroje.

3.5 Lokální zdroje hluku

Jako lokální zdroje hluku zametacího stroje jsem označil místa, ve kterých dosahují naměřené hladiny akustického tlaku nejvyšších hodnot. Na tato místa bude zaměřena pozornost při návrhu protihlukových opatření.

3.5.1 Sací hubice

Z hlukových map na obou bocích zametače (obr. 19,20) je zřejmé, že v okolí sací hubice a zejména v místě sání dosahuje celková hladina akustického tlaku vysokých hodnot 105 respektive 106 dB_(A).

V místě vstupu nasávaného vzduchu do hubice dochází vlivem vysoké rychlosti v mezeře vytvořené mezi zemí a spodní hranou hubice ke vzniku turbulentního proudění, jehož hlukový projev je patrný v oblasti 160 – 200 Hz (graf 1,3).

Dále se v místě sání projevuje hluk generovaný ventilátorem, který se šíří odsávacím systémem a který je ve frekvenčním spektru odhalitelný v oblasti mezi

500 – 600 Hz. Nedosahuje zde ale tak vysokých hodnot, jako v místě výstupu z ventilátoru, což je patrně způsobeno jeho částečným útlumem na cestě šíření v systému odsávání.



Obr. 25 Sací hubice



Obr. 26 Výstup z ventilátoru

3.5.2 Výstup z ventilátoru

Místo výstupu proudu vzduchu z ventilátoru (obr. 26) se projevuje velmi silnou hlukovou složkou až 105 dB v oblasti 500 – 600 Hz, která je jasně patrná špičkou ve frekvenčním spektru bodů 63,64 a 68 a je znázorněna také v hlukové mapě (obr. 23).

Z otevřeného výstupu ventilátoru je vzduch směřován krátkým difuzorem pod zásobník, do rámu vozu. Z těchto míst se pak hluk šíří do stran a do zadní části vozu. Právě v bodech 63, 64 a 68 vystupuje z pod rámu vozu. Je také odhalen měřením v zadní části vozu při frekvenci 500 Hz (obr. 24), kde hladiny akustického tlaku dosahují hodnot 100 dB.

3.5.3 Hluk šířený z technologického prostoru

V tomto případě jsem jako dílčí zdroj označil hluk z pohonné jednotky, který se do okolí šíří otevřenou spodní částí technologického prostoru. Z důvodu umístění pohonné jednotky vpravo od osy vozu, je projev více patrný v pravé části vozu (obr. 23). Ve frekvenčních spektrech se jedná o hluk v oblasti 50 Hz, který se vyznačuje výraznou špičkou a dosahuje hodnot 103 dB.



Obr. 27 Pohonná jednotka

4 Návrh odhlučnění zametacího stroje

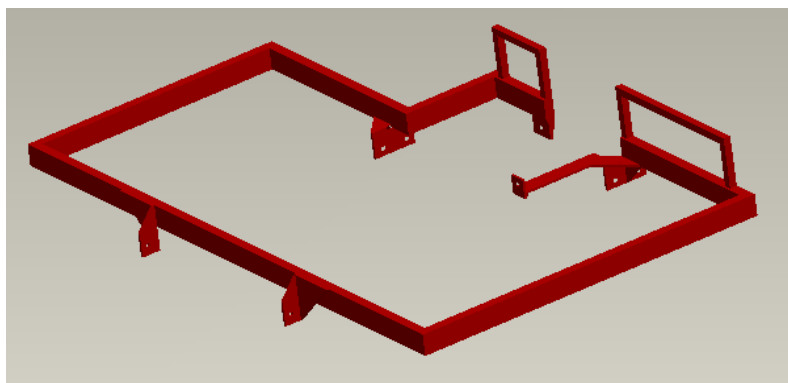
Při stanovování rozměrů navrhovaných součástí jsem vycházel z informací a materiálů poskytnutých firmou KOBIT prostřednictvím pánů ing. Bláhy a ing. Krejčího. S dostupných dat jsem vytvořil v programovém prostředí ProEngineer Wildfire modely hlavních komponentů zametače a jednoduchou sestavu, ze které šlo určit prostorové možnosti zástavby a s tím související rozměry navrhovaných prvků. Vzhledem k faktu, že jsem z pochopitelných důvodů neměl k dispozici kompletní výkresovou dokumentaci celého stroje, bude v případě zájmu výrobce o realizaci některého z uvedených řešení nezbytné provést ověření a případnou korekci vnějších rozměrů těchto komponentů. S touto variantou jsem při návrhu počítal a výsledná konstrukční řešení takové korekce umožňují.

4.1 Kryt technologického prostoru

Snížení hluku způsobeného provozem pohonné jednotky nástavby není v tomto případě možné docílit úpravou samotného zdroje. Je nutné přistoupit k jinému řešení, které zajistí omezení šíření tohoto hluku do okolního prostoru. Jako nejsnadnější se jeví kompletní zakrytí spodní části technologického prostoru, čímž se využije materiálové vlastnosti – neprůzvučnosti. Tato úprava nebude mít výrazný vliv na chod pohonné jednotky ani si nevyžádá její úpravy. Přívod vzduchu do sání motoru i odvod spalin z výfuku je standardně vyveden v horní části zásobníku a stejně je zajištěna i cirkulace chladícího vzduchu. Z tohoto hlediska je instalace krytu realizovatelná.

4.1.1 Konstrukční provedení krytu

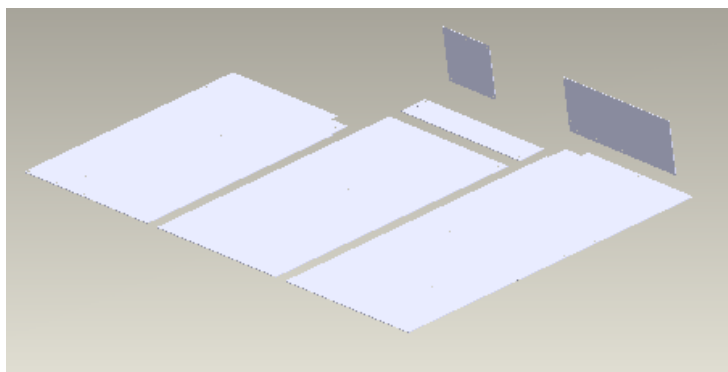
Konstrukční provedení vychází z obvodového nosného rámu (obr. 28) ke kterému jsou připevněny krycí plechy. Rám je svařen z uzavřených tenkostěnných ocelových profilů obdélníkového průřezu 90 x 40 mm se silou stěny 3 mm. Vnější rozměry líčují s obrysem stěn tělesa zásobníku ohraničujících technologický prostor. V zadní části je z uzavřených čtvercových profilů 30 x 30 mm vytvořeno zvýšení, které vyrovnává výškový rozdíl, způsobený zkoseným dnem zásobníku. V předu i vzadu jsou držáky s dírami pro šrouby sloužící ke spojení s rámem nástavby. Takto vytvořený rám dosahuje vnějších rozměrů (šířka x délka) 2400 x 1520 mm.



Obr. 28 Obvodový rám

Hliníkové krycí plechy (obr. 29) mají tloušťku 2 mm a k obvodovému rámu jsou připevněny pomocí nýtů. V místech kde je to možné, jsou přinýtovány také k rámu ventilátoru a pohonné jednotky. Nýty lze nahradit šrouby do plechu, které usnadní případnou demontáž.

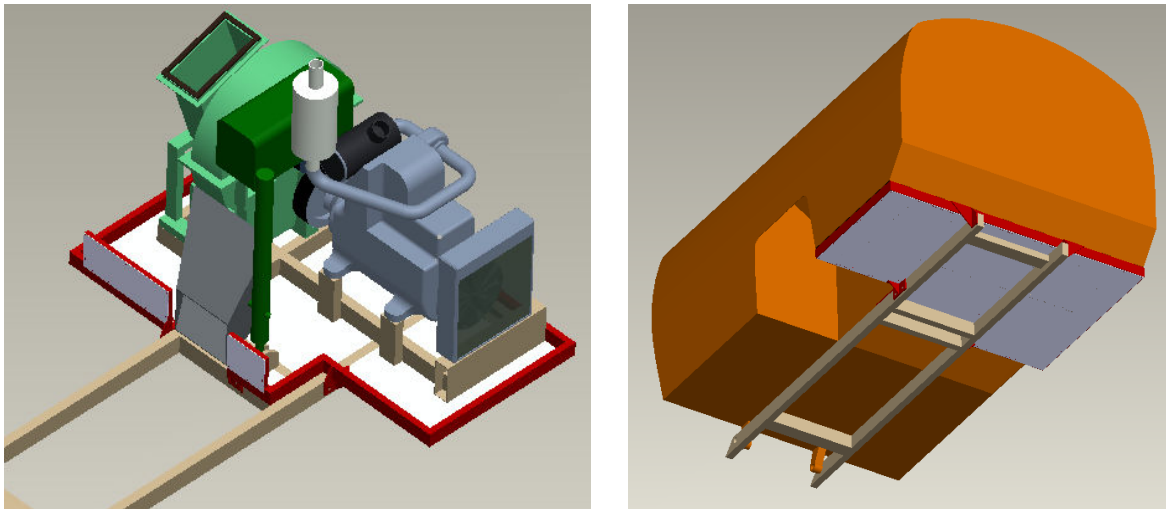
Plechy je nutné opatřit otvory pro průchod vedení provozních okruhů nástavby, přívodu paliva k motoru a elektroinstalace. Tato operace se provede až podle konkrétních požadavků s ohledem na skutečnost, že s rostoucím počtem otvorů a s růstem jejich rozměrů dochází ke snížení výsledné vzduchové neprůzvučnosti



Obr. 29 Krycí plechy

Instalací krytu dojde ke zvýšení hladiny hluku v technologickém prostoru, je proto účelné, opatřit kryt z vnitřní strany vrstvou pohltivého materiálu. Tento materiál musí být odolným v podmínkách plynoucích z jeho umístění pod motorem (úniky paliva a maziva). Jako vhodný se jeví výrobek nabízený firmou Greif – akustika, s.r.o. pod obchodním označením QUASH FR2000, jehož popis uvádím v příloze.

Celá konstrukce je pomocí šroubů uchycena k rámu nástavby v šesti bodech. Na spodním lemu zásobníku je přilepeno pryžové těsnění, které po dosednutí zásobníku na obvodový rám krytu zajistí částečné utěsnění.



Obr. 30 Kryt technologického prostoru

4.1.2 Teoretický útlum hluku

Podle vztahu (5) uvedeného v [1] je možné teoreticky určit stupeň neprůzvučnosti jednoduché stěny, na kterou kolmo dopadá zvuková vlna,

$$R = 10 \log \left(1 + \frac{\omega \cdot \sigma}{2 \cdot \rho_{vz} \cdot c} \right)^2 \quad [dB] \quad (5)$$

kde pro ω platí:

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad [s^{-1}] \quad (6)$$

Jako frekvenci uvažuji tu, jež odpovídá zvukovému projevu pohonné jednotky uvedené v tab. 1 a která se výrazně zobrazila ve frekvenčních spektrech, tj. $f = 45 \text{ Hz}$. Při výpočtu jsem vycházel z následujících parametrů:

$$\begin{aligned} \sigma &= 5,4 \text{ kg} / \text{m}^2 \\ \rho_{vz} &= 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ c &= 340 \text{ m} / \text{s} \end{aligned}$$

Dosazením do vztahu (5) vyjde stupeň vzduchové neprůzvučnosti krytu při kolmém dopadu zvukových vln výše uvedené frekvence **$R = 9,2 \text{ dB}$** (neuvažuji vrstvu pohltivého materiálu).

Vzhledem k poloze pohonné jednotky je zřejmé, že zvukové vlny nedopadají na plochu krytu vždy v kolmém směru a lze předpokládat, že skutečná

neprůzvučnost krytu bude menší. Existuje empirický vztah (7) uvedený v [1], pomocí kterého lze stanovit stupeň neprůzvučnosti při všesměrovém dopadu.

$$R = 18 \log \sigma + 12 \log f - 25 \quad [dB] \quad (7)$$

Takto vypočtený stupeň neprůzvučnosti dosahuje hodnot **$R = 8 \text{ dB}$** .

Zvýšení stupně neprůzvučnosti je možné dosáhnout změnou tloušťky stěny krytu nebo změnou použitého materiálu. Pro hliníkový plech o síle 3 mm vyjde stupeň neprůzvučnosti **$R = 11,6 \text{ dB}$** a v případě použití ocelového plechu ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$) tloušťky 2 mm dosahuje neprůzvučnost hodnoty **$R = 16 \text{ dB}$** , počítáno podle (5). Obě tato řešení si ale vyžádají nárůst celkové hmotnosti konstrukce. Jako další možný způsob, kterým lze docílit zvýšení vnitřního útlumu materiálu, je aplikace antivibračního nátěru na povrchu krycích plechů.

4.1.3 Zhodnocení krytu

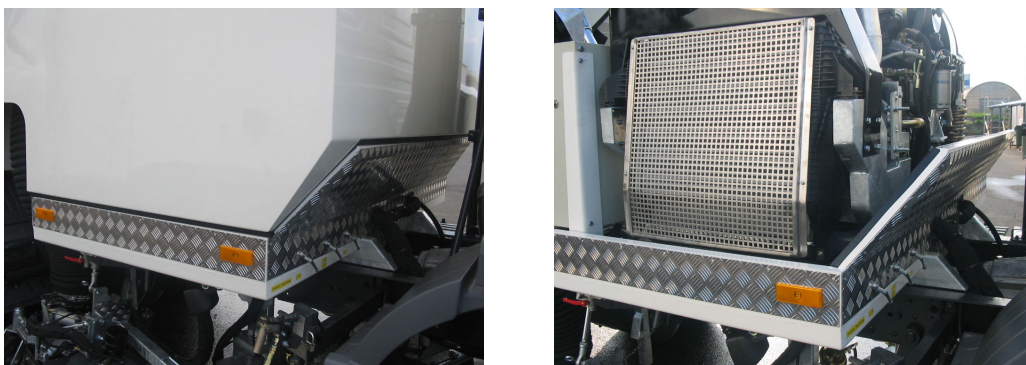
Instalace krytu prokazatelně zabrání šíření hluku z technologického prostoru do okolí zametače a mimo to zamezí vnikání nečistot, k jejichž víření dochází provozem zametacího agregátu, do technologického prostoru.

Konstrukční provedení rámu umožňuje jeho montáž do nástavby (i demontáž) bez nutnosti demontáže ostatních komponentů zametače jako ventilátoru či pohonné jednotky. Celé provedení je navrženo pro stroj s zametacím agregátem na pravé straně. Použití u levostranného nebo oboustranného zametače si vyžádá změnu konstrukce obvodového rámu a tvaru krycích plechů.

Hlavní nevýhoda krytu spočívá v nárůstu hmotnosti nástavby po jeho instalaci. Odhadovaná hmotnost nosného rámu činí 58 kg a součet hmotností všech plechů dosahuje přibližně 17 kg.

Jako další nevýhodu vidím zhoršený přístup k motoru a ventilátoru při provádění servisních úkonů.

Poznámka: Konstrukcí krytu spodní části technologického prostoru se výrobce již zabýval a v současné době má zpracované provedení dle vlastního návrhu (obr. 31).



Obr. 31 Kryt technologického prostoru

4.2 Tlumič hluku na výstupu z ventilátoru

Zajistit redukci hluku generovaného ventilátorem úpravou jeho konstrukce není v daném případě možné. Jediný způsob snížení hluku ve zdroji je omezení rychlosti oběžného kola, což ovšem způsobí pokles sacího výkonu zametače. Při požadavku zachovat současnou sací schopnost stroje je nutné přistoupit k jiné protihlukové úpravě. Jako účinný akustický prostředek se v prostředí turbulentního nebo pulsujícího proudění vzduchu používá tlumič hluku instalovaný do systému.

4.2.1 Volba typu tlumiče

Tlumiče v zásadě využívají dvou možných principů tlumení hluku a to absorpcí (pohlcením) nebo reflexí (odrazem) zvukových vln. Typ absorpční je zpravidla vhodnější ve vzduchotechnických zařízeních pro dopravu velkého množství vzduchu, kdežto typ reflexní se více hodí pro potrubí malých průřezů (spalovací motory, kompresory).

Absorpční tlumič, kterým by bylo dosaženo přijatelného útlumu hluku dané frekvence, dosahuje rozměrů, jež neumožňuje jeho zástavbu do zametače bez výrazného zásahu do konstrukčního provedení celé zametací nástavby. Z tohoto důvodu je zřejmé, že účelnější bude návrh tlumiče reflexního typu.

K odrazu zvukových vln v tlumiči dochází v místech náhlé změny průřezu potrubí, nebo v místech zalomení potrubí o 90°.

V prvním případě je pro správnou funkci tlumiče nutné, aby charakteristický příčný rozměr potrubí byl výrazně menší než vlnová délka uvažované kmitočtové složky frekvenčního spektra hluku [1].

Uvažuji základní frekvenci sirénového hluku ventilátoru $f = 575 \text{ Hz}$ (tab. 2), které odpovídá vlnová délka $\lambda = 0,59 \text{ m}$, podle (8).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m] \quad (8)$$

Rozměry výstupního otvoru ventilátoru jsou $230 \times 340 \text{ mm}$ ($S = 0,782 \text{ m}^2$), při dopravovaném množství vzduchu $V = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ je rychlost proudění otvorem $v = 54 \text{ m/s}$, podle vztahu (9).

$$v = \frac{V}{S} \quad [m/s] \quad (9)$$

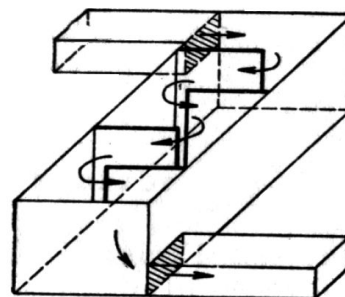
S ohledem na rychlost proudění a vlnovou délku zvuku není vhodné realizovat potrubí, jehož rozměry by byly výrazně menší než vlnová délka a tím plnily podmínku, která zajistí spolehlivé tlumení reflexí v místě změny průřezu, proto je nutné navrhnout tlumič, v němž nastává odraz v důsledku zalomení potrubí v koleni.

4.2.2 Návrh tlumiče

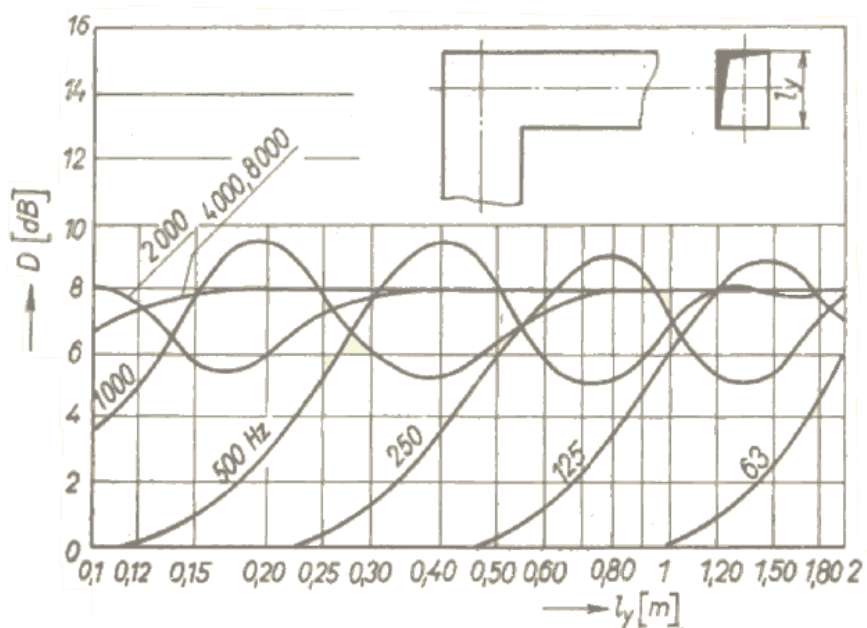
Při návrhu tlumiče hluku umístěného na výstupu z ventilátoru je nutné vycházet zejména z požadavků potřebných k dosažení přijatelných akustických parametrů, z podmínek daných prouděním vzduchu a také z prostorových možností, které nabízí současné konstrukční řešení zametače.

Z hlediska akustického je třeba dodržet podmínku devadesátistupňového zalomení způsobujícího odraz zvukových vln a dále rozhodnout, které frekvence se mají tlumit nejvíce a podle toho zvolit šířku potrubí před kolenem. K určení rozměru slouží diagram na obr. 33. Největší útlum požadují při frekvenci $f = 575 \text{ Hz}$, z diagramu je zřejmé, že pro tuto frekvenci by potrubí mělo mít šířku $l_y \approx 400 \text{ mm}$. Druhý rozměr potrubí l_z , nemá na výsledný útlum vliv.

Za účelem zvýšení celkového útlumu je možné zařadit více kolen za sebou. V případech, kdy jsou k dispozici omezené zástavbové rozměry, je vhodné uspořádat kolena do labyrintu (obr. 32).



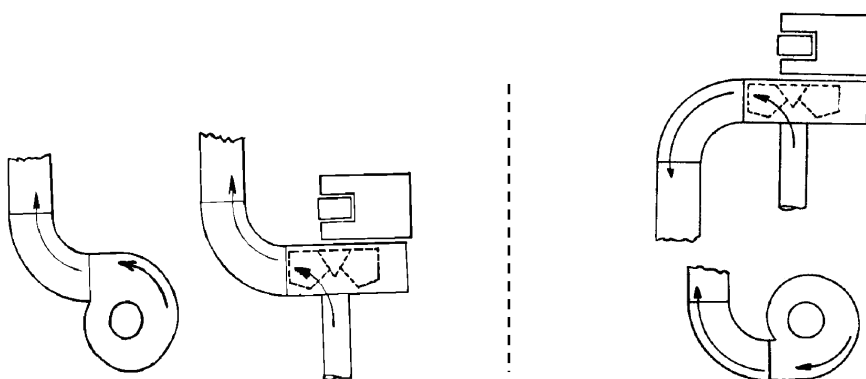
Obr. 32 Labyrint [5]



Obr. 33 Přenosový útlum v koleně bez akustického obložení [5]

Návrh tlumiče s ohledem na proudění vzduchu vyžaduje, aby tlakové ztráty v něm byly co nejmenší. Tyto ztráty se jednak projevují na funkci vzduchotechnického systému, ale také se stávají zdrojem aerodynamického hluku. Pravoúhlá kolena jsou obecně považována za prvky způsobující výrazné hydraulické ztráty. Značný vliv na této skutečnosti má rychlost proudícího vzduchu v koleni a proto je vhodné volit takové rozměry potrubí, kterými lze dosáhnout přijatelně nízkých rychlostí. Z uvedených důvodů je na místě, zvolit rozměr potrubí l_z co největší a tím docílit snížení rychlosti proudícího vzduchu.

Podíl na vzniku ztrát v koleni může mít i jeho nevhodné zařazení do systému. V případě, kdy mají být oblouk nebo koleno umístěny za výfukem z ventilátoru, je důležité dodržet správné uspořádání znázorněné na obr. 34.

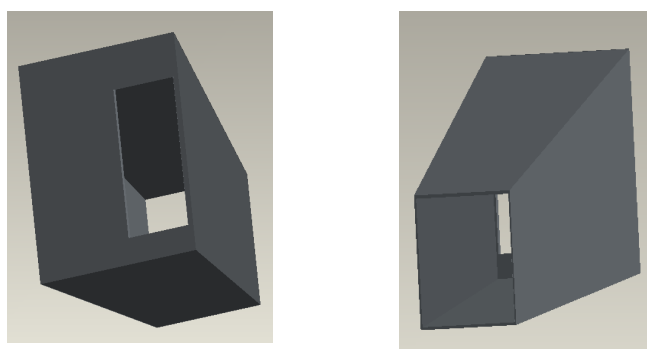


Obr. 34 Umístění oblouku za ventilátorem: vlevo – špatně, vpravo – správně [5]

Celkové vnější rozměry tlumiče musí umožnit jeho zástavbu do soudobé konstrukce nástavby zametače bez výrazných zásahů do této koncepce. Prostorové možnosti plynou z předpokládané pozice, ve které se bude prvek po instalaci nacházet a jsou tedy dány stávajícím rozmístěním komponentů v technologickém prostoru (dobře patrné na obr. 6 - 8). Vycházím ze skutečnosti, že tlumič svým umístěním nahradí původní difuzor. Největší prostorové omezení způsobují ventilátor, čelo a dno zásobníku, hydraulický válec vyklápění zásobníku, nádrž hydraulické kapaliny a rám nástavby.

4.2.3 Konstrukční provedení tlumiče

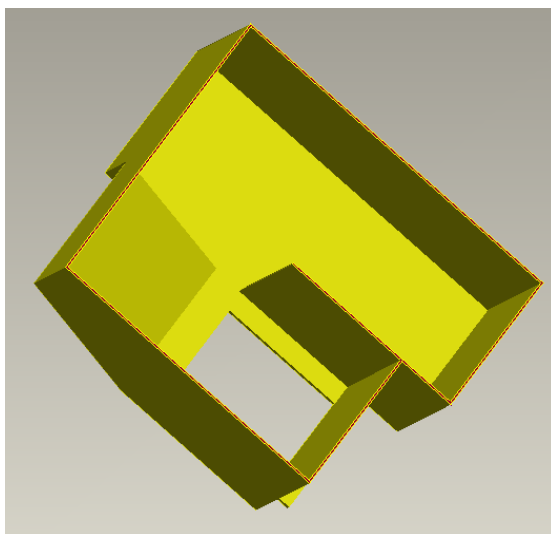
Při řešení konstrukčního provedení tlumiče jsem se držel rozměrů vstupního otvoru ventilátoru (230 x 340 mm) a výstupního otvoru doposud používaného difusoru (400 x 300 mm) a jejich vzájemné polohy. V těchto parametrech se provedení tlumiče plně shoduje s původním difuzorem (obr. 35).



Obr. 35 Difuzor

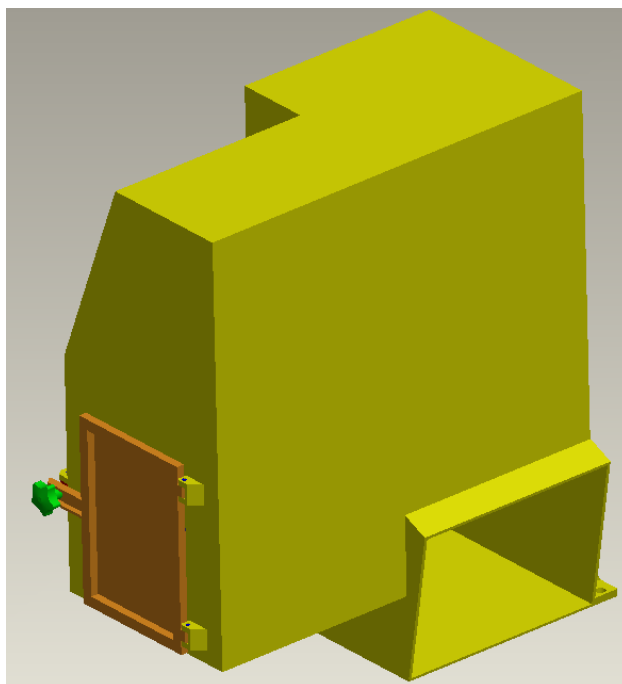
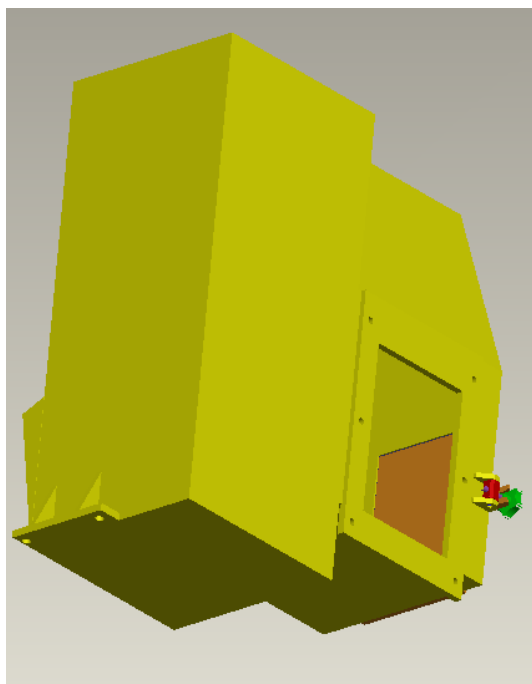
Vzájemnou polohou vstupního a výstupního otvoru je vymezen jeden z vnějších rozměrů tlumiče 420 mm. Z výškového rozdílu jejich spodních hran vychází stupňový tvar dna. Dále je nezbytné aby se ten rozměr kanálu, který rozhoduje o velikosti útlumu, přibližoval hodnotě 400 mm. Druhý rozměr volím v rámci možností co největší. Cílem je dosáhnout maximálního počtu pravoúhlých zalomení v daném prostoru. Komplikaci v horní části způsobuje vystouplý tvar tělesa ventilátoru, jenž si vyžádá částečné zkosení jedné stěny tlumiče. V tomto místě dochází k největšímu zúžení průřezu ($S = 0,140 \text{ m}^2$) a rychlost proudění dosahuje hodnoty $v = 30 \text{ m/s}$, podle vztahu (9). Velikost tohoto průřezu, potažmo rychlosti, lze ovlivnit výškou přepážky, která vytváří zalomení uvnitř tlumiče. Snížení této přepážky způsobí

snížení rychlosti, ale může vyvolat pokles výsledného útlumu hluku. Vnitřní uspořádání tlumiče je zřejmé z řezu na obrázku 36.



Obr. 36 Tlumič v řezu

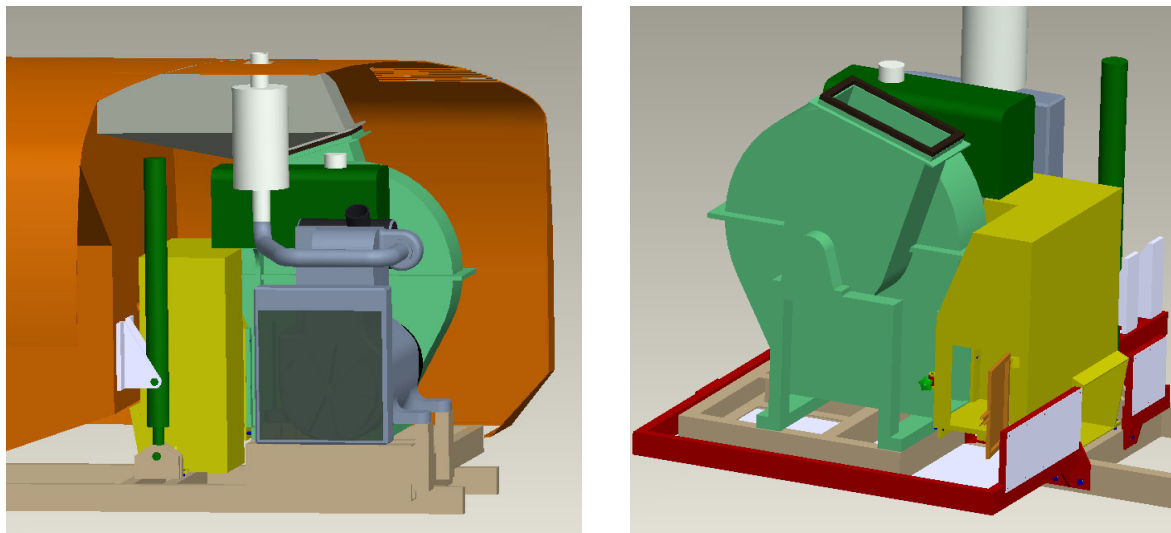
Tlumič je řešen jako svařenec z ocelových plechů tloušťky 5 mm. Okolí vstupního otvoru je opatřeno přírubou s dírami pro šrouby, které umožní spojení s ventilátorem. Výstupní otvor jsem opatřil límcem, jenž má nasměrovat vyfukovaný vzduch do prostoru pod zásobník.



Obr. 37 Tlumič hluku - celek

Vzduch proudící ven z ventilátoru obsahuje množství nečistot, které se neoddělily při průchodu zásobníkem. Ty se mohou usazovat ve vnitřním prostoru tlumiče a negativně ovlivnit požadované parametry. Jejich odstranění bez demontáže komponentu z nástavby by nebylo proveditelné, proto jsem opatřil tlumič otvorem s dvířky, kterým je možné vyčistit nepřístupný prostor. Jednoduše řešená dvířka s drážkou pro pryžové těsnění jsou zavěšena na pantech a zajištěna šroubovým uzávěrem, který umožní jejich snadné otevření a zároveň dovolí vyvinout dostatečnou sílu potřebnou k utěsnění. Celé řešení tlumiče je vidět na obrázku 37 a na výkrese sestavy, kde jsou zakótovány nejdůležitější rozměry.

Původní difuzor, byl při montáži do nástavby uchycen pouze k přírubě ventilátoru. Z důvodu vyšší hmotnosti tlumiče v porovnání s difuzorem, je nezbytné zajistit pevné spojení s rámem. K tomuto účelu je tlumič opatřen patkou, která umožní realizaci spoje pomocí šroubů. Omezení přenosu vibrací do rámu je řešeno užitím plastového pásku (obdobného jako v případě uložení ventilátoru v rámu). Konstrukční provedení počítá se zástavbou do nástavby stroje i v případě, kdy bude nainstalován navrhovaný kryt technologického prostoru. Zástavba tlumiče je na obrázku 38.



Obr. 38 Zástavba tlumiče do nástavby

4.2.4 Teoretický útlum hluku

K určení teoretického útlumu, kterého je možné dosáhnout instalací navrhovaného tlumiče na výstupu z ventilátoru, jsem použil diagram na obrázku 33. Pro uvažovanou frekvenci hluku $f = 575 \text{ Hz}$ vychází přenosový útlum v kolenní daných

rozměrů přibližně **9 dB**, se snižující se frekvencí útlum klesá, při $f = 250 \text{ Hz}$ dosahuje hodnoty necelé **4 dB**. Pokles útlumu nastává také pro vyšší kmitočty, frekvenci $f = 1000 \text{ Hz}$ odpovídá útlum asi **5 dB**, pro další kmitočty je možné využít metody interpolace.

V tělese tlumiče jsou realizována celkem čtyři zalomení, lze proto očekávat, že celkový přenosový útlum dosáhne výrazně vyšších hodnot, není ho ale možné stanovit prostým součtem útlumů v jednotlivých kolenech. Sčítání útlumů je proveditelné v případě, kdy vzdálenost jednotlivých kolen dosahuje alespoň velikosti jedné vlnové délky. Tato podmínka není pro frekvenci $f = 575 \text{ Hz}$ (podle vztahu (8) $\lambda = 0,59 \text{ m}$) splněna, přesto očekávám výsledný celkový útlum tlumiče vyšší než **15 dB**. Přibližně od kmitočtu $f = 900 \text{ Hz}$ je možné aplikovat součet a celkový útlum při $f = 1000 \text{ Hz}$ se blíží hodnotě **20 dB**.

4.2.5 Zhodnocení tlumiče hluku

Konstrukční řešení počítá s instalací do stroje s pravostranným zametáním. Zástavba do levostranného případně oboustranného zametače nebude proveditelná beze změny vnějších rozměrů tlumiče. Šířku 800 mm je možno za tímto účelem zredukovat, ale bezpochyby tato změna způsobí nárůst turbulence proudění a změnu celkového útlumu.

Aby bylo možné dosáhnout účinného tlumení a zároveň umožnit proudění přijatelnými rychlostmi, dosahují vnější rozměry tlumiče 960 x 800 x 390 mm. S tím souvisí také jeho nemalá hmotnost. Zatímco původní difuzor vážil přibližně 50 kg, hmotnost navrhované součásti činí téměř 120 kg.

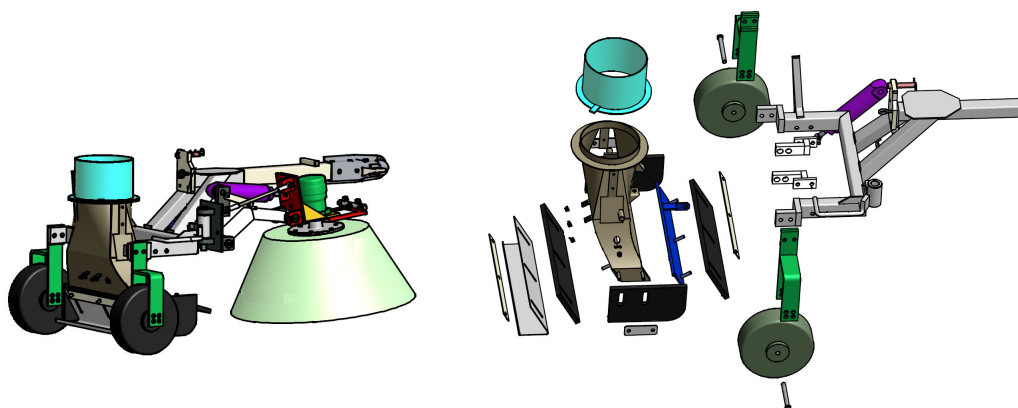
Za další nevýhodu je možno považovat skutečnost, že tlumič hluku se stává zdrojem tlakových ztrát, což se může negativně odrazit na sacím výkonu stroje.

Proudění vzduchu může také vyvolávat vibrace stěn tlumiče. Pokud by takový problém nastal, bude vhodné opatřit stěny žebrováním. Aplikace antivibračního nátěru by byla vzhledem k tloušťce stěn neúčinná.

4.3 Úpravy sací hubice

Snaha o redukci hluku, který je vyvolán prouděním vzduchu hubicí, změnou její konstrukce je velmi problematická. Provedení součásti a její výška nad zemí má hlavní vliv na sací výkon systému a jakékoliv neuvážené zásahy by mohli zapříčinit

výrazné snížení sací schopnosti. Jistá omezení jsou dána také uložením hubice ve vozíku a zástavbou ostatních komponentů nezbytných pro správnou funkci zametače (vodní trysky, kartáč). Je nutné počítat i s možností otvírání přední klapky (v případě sání velkého množství materiálu).



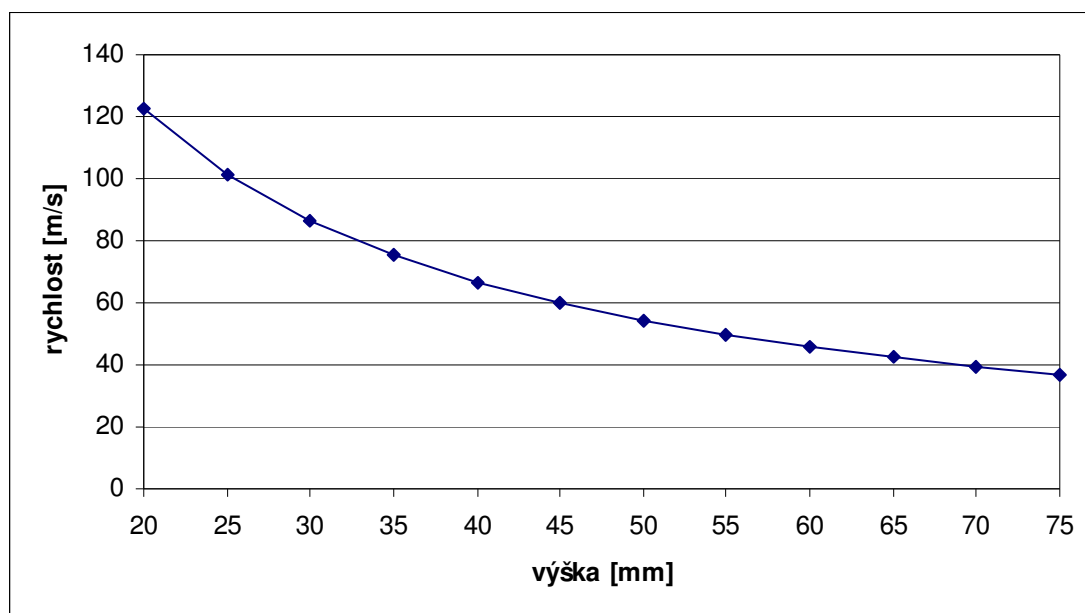
Obr. 39 Konstrukce hubice a vozíku, uložení hubice ve vozíku

4.3.1 Změna výšky hubice nad zemí

Nejsnadněji realizovatelná úprava, jež si nevyžádá žádné zásahy do soudobé konstrukce, je změna výšky gum umístěných po obvodu vstupního otvoru. Současná vzdálenost spodní hrany od povrchu je 30 mm v případě přední gumy a 20 mm u gum ostatních. V takto vzniklé mezeře dosahuje střední rychlost proudění vysoké hodnoty přibližně **120 m/s** (podle vztahu (9), $S \approx 0,0342 \text{ mm}^2$). Následkem náhlé změny průřezu v otvoru mezi gumami ($S \approx 0,102 \text{ mm}^2$) se rapidně sníží hodnota střední rychlosti na přibližně **40 m/s**. Lze tedy předpokládat, že rychlostní pole v tomto místě je nerovnoměrné, vzniká zde silná turbulence, značné tlakové ztráty a s tím spojený výrazný hlukový projev. Rychlost na výstupu z hubice (= vstup do hadice vedoucí do zásobníku, $S = 0,057 \text{ mm}^2$) se zvýší na **70 m/s**, v tomto případě lze ale očekávat rovnoměrnější průběh vlivem pozvolné změny průřezu dané tvarem boků hubice.

V grafu 7 je znázorněna velikost střední rychlosti proudění v mezeře mezi gumami a povrchem v závislosti na jejich výšce nad tímto povrchem. Vycházel jsem z rozměrů současné hubice a ponechal rozdíl výšky přední gumy vůči zbylým 10 mm. Je třeba brát v úvahu že se jedná o střední rychlosti, skutečné rychlostní pole se vyznačuje nerovnoměrným rozdělením křivek konstantních rychlostí. Jiné

hodnoty budou vykazovat rychlosti v blízkosti hrany otvoru na rozdíl od rychlostí těsně nad zemí.



Graf 7 Závislost rychlosti proudění na výšce hubice nad povrchem

Z grafu je názorně vidět, že při nastavení spodní hrany gum do vzdálenosti 65 mm (přední guma 75 mm) nad zemí se velikost střední rychlosti vzduchu ve vzniklé mezeře vyrovná hodnotě na vstupu do hubice. Tato hodnota by ale pravděpodobně nestačila k zajištění účinného odsátí všech nečistot.

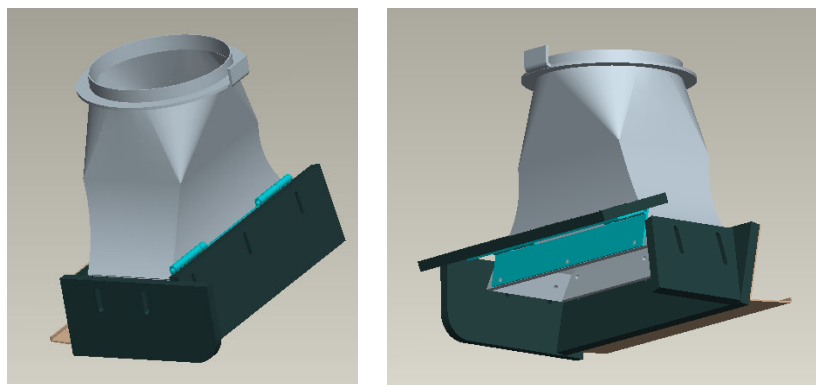
Při výpočtu dopravních rychlostí odsávacích zařízení se vychází z experimentálně stanovených hodnot pro různé materiály (podrobné informace uvedeny v [5]). Uváděné hodnoty se pohybují v mezích 10 – 25 m/s (vlhké dřevěné odřezky) a dále se korigují podle hmotnostního poměru vzduchu a pevné látky.

Pro odsávání různorodých nečistot do systému zametacího stroje s přihlédnutím k možné koncentraci materiálu považují dopravní rychlost **40 m/s** za postačující. Vzhledem ke zmíněnému nerovnoměrnému rychlostnímu poli volím jako vhodnou velikost střední rychlosti **60 – 70 m/s**. Této hodnotě odpovídá výška nastavení obvodových gum hubice **40 mm**. Za těchto podmínek očekávám snížení hluku vyvolaného prouděním vzduchu na vstupu do odsávacího systému při současném dodržení dostatečné sací schopnosti stroje. V návrhu jsem se nevyhnul odhadům a proto je namístě provést ověřovací experiment.

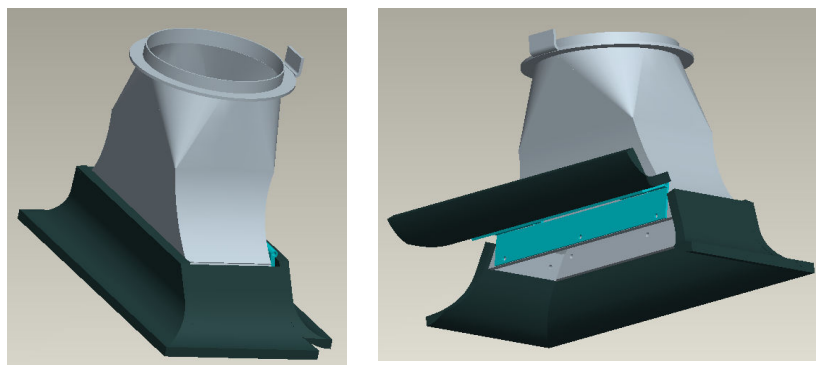
4.3.2 Změna tvaru hubice

Změna samotného tvaru hubice by byla velmi komplikovaným řešením, které by vyžadovalo rozsáhlý projekt s využitím množství informací a znalostí z oboru proudění. K dosažení kvalitních výsledků by bylo v tomto případě nezbytné pracovat s podporou patřičného programového vybavení například simulačního softwaru FLUENT.

Domnívám se, že jistého snížení hluku by bylo možné dosáhnout také změnou tvaru gum umístěných po obvodu vstupního otvoru hubice. Původní řešení, které používá rovných gum, považuji za příčinu značných tlakových ztrát s čímž přímo souvisí vznik aerodynamického hluku. Přijatelnějším řešením se mi zdají být gummy zaoblené, které umožní plynulejší změnu rychlosti proudění. Tento návrh by ale bylo nutné posoudit z hlediska opotřebení v provozu a prakticky ověřit jeho vliv na sací výkon zametače. Přitom není možné předem odhadnout, jak velké snížení hluku by toto opatření přineslo. Z tohoto důvodu jsem se nepouštěl do rozsáhlejšího návrhu a konkrétního konstrukčního provedení. Uvádím zde pouze předběžný návrh v porovnání s původním provedením.



Obr. 40 Původní řešení



Obr. 41 Navrhované řešení

4.4 Legislativní a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav

4.4.1 Legislativní zhodnocení

Při posuzování opatření vedoucích ke snížení hluku zametače z hlediska legislativního je vyžadováno, aby žádné z navrhovaných řešení neporušovalo normy a obecně platné požadavky týkající se zejména bezpečnosti a vlivu na životní prostředí. Za směrodatné lze považovat normy ČSN EN ISO 14001-2005 a ČSN EN ISO 9001-2001, jedná se o certifikát systému environmentálního managementu a certifikát řízení jakosti vydané TÜV CZ pro obor výroby zametačů a komunálních nástaveb. V případě zametače K6 jde o stroj běžně užívaný v silničním provozu a z tohoto důvodu musí plnit také požadavky dané Zákonem o technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích 38/95 Sb. doplněný vyhláškami 102/95 Sb. a 103/95 Sb.

Tlumič hluku ani kryt technologického prostoru po instalaci do konstrukce stroje nepřestávají žádné nebezpečí pro ostatní účastníky silničního provozu, nedochází ani ke změně vnějších rozměrů vozidla a zametač nadále splňuje podmínky dané zákonem. Obě součásti jsou do nástavby montovány napevno, čímž se snižuje možnost náhlého uvolnění a následného ohrožení věcí a osob v blízkém okolí vozu. Stejně tak komponenty nepředstavují žádné nebezpečí pro obsluhu stroje, ani nikterak neomezují výhled z místa řidiče.

Užití některého z řešení není spojeno se zvýšeným rizikem vzniku požáru. Materiál QUASH navrhnutý k obložení vnitřního povrchu krytu vykazuje minimální nasákavost, vysokou odolnost vůči působení chemikálií (paliv, maziv) a navíc obsahuje samozhášecí přísady, čímž nepřispívá k šíření případného požáru.

Z hlediska ekologie nezpůsobí navrhovaná protihluková opatření jakoukoliv zátěž životnímu prostředí. Jejich realizace by měla naopak přispět ke snížení hlukových emisí stroje, přičemž žádný negativní dopad na životní prostředí neshledávám. Výše zmíněný materiál QUASH je plně recyklovatelný standardními průmyslovými procesy. Po stránce legislativní je možno veškerá uváděná řešení označit za plně vyhovující.

4.4.2 Ekonomické zhodnocení

Podrobné ekonomické zhodnocení navrhovaných protihlukových opatření je otázkou přímo pro samotného výrobce, z mého pohledu se jedná spíše o zjednodušený a velmi hrubý odhad.

Vycházím ze základního předpokladu, že nejvýhodnější je takové řešení, které vystačí s minimálními náklady co se týče materiálu a technologických operací a zároveň nevyžaduje zásah do současné konstrukce stroje. Z tohoto pohledu je bezpochyby nejméně nákladnou úpravou změna výšky sací hubice. K tomuto úkonu je zapotřebí pouze jedné osoby a je možné jej provést už při základní montáži gum k tělesu hubice. Nespornou výhodou této úpravy je, že umožňuje návrat k původnímu řešení bez ztrát a dalších investic.

Realizace krytu technologického prostoru bude z hlediska ekonomického spojena se značnými investicemi do materiálu. Náklady na hliníkové plechy jsou přibližně o 40 % vyšší než v případě ocelových, ale z hlediska úspory hmotnosti je tato investice rozumná. Na náklady v podobě mezd zaměstnanců mají vliv především technologické operace jako jsou dělní materiálu, svařování, povrchová úpravy, montáž nosného rámu, montáž plechů, aplikace pohltivých obkladů. Instalace krytu si nevynutí nijak radikální zásahy do současné konstrukce zametače. Půjde především o vytvoření úložných bodů na rámu nástavby, ale nepředpokládám, že tato úprava bude zdrojem zvlášť vysokých investic.

Při hodnocení tlumiče zohledňuji skutečnost, že nové řešení nahrazuje dosud užívaný difuzor, proto ho posuzuji ve vztahu k nákladům na výrobu předešlé součásti. V tomto případě se jedná o investici do materiálu, která je oproti difuzoru více než dvojnásobná. Z porovnání rozměrů a konstrukce obou součástí usuzuji, že navýšení výrobního času dosáhne přibližně dvojnásobku původní doby. Montáž komponentu mohou zkomplikovat větší rozměry a hmotnost, oproti difuzoru, lze proto očekávat prodloužení doby montáže současně se zvýšením počtu k tomu potřebných osob. Za málo významnou z hlediska nákladů považuji úpravu rámu, nutnou k uchycení tlumiče.

Návrh změny tvaru gum není vypracován do stavu, kdy by bylo možné provést jeho ekonomické zhodnocení. Bylo by vhodné nejprve ověřit skutečný vliv na hlukové emise a sací výkon. V tomto případě nepředpokládám, že by si zkušební provedení vyžádalo zvlášť vysoké náklady.

Seznam použité literatury

- [1] Němec, J. – Ransdorf, J. – Šnédrle, M. : Hluk a jeho snižování v technické praxi. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1970.
- [2] Nový, R. : Hluk a chvění. Skripta ČVUT, Praha 2000.
- [3] Němeček, P. : Hluk v technické praxi I. Skripta TU v Liberci, Liberec 1998.
- [4] Jiříček, O. : Úvod do akustiky. Skripta ČVUT, Praha 2002.
- [5] Špinar, B. : Vzduchotechnická zařízení. Práce, Praha 1958.
- [6] Procházka, A. : Proudění tekutin potrubím a kanály. SNTL, Praha 1962.
- [7] Ransdorf, J. : Základní zásady pro snižování hluku. ČSVTS, Praha 1988.
- [8] Leinveber, J., Vávra, P. : Strojnické tabulky. Pedagogické nakladatelství ALBRA, Úvaly 2003.
- [9] Šulc, J. - Šinták, J. : Právní problematika a ochrana životního prostředí (Ochrana životního prostředí). Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, Liberec 1990.
- [10] Sbírka zákonů ČR, 2002
- [11] Technické podklady firmy KOBIT, s.r.o. Jičín
- [12] Informační materiály firmy MA-DONA Tábor
- [13] Informační materiály firmy GREIF-Akustika s.r.o. Praha